

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra výrobních strojů a konstruování

## **Korba bojového vozidla pěchoty**

## **Infantry Fighting Vehicle Hull**

Student:  
Vedoucí diplomové práce:

Bc. Ján Dzurenda  
doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář

Ostrava 2015

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Ján Dzurenda**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství  
Specializace: 20 Výrobní stroje a zařízení  
Téma: **Korba bojového vozidla pěchoty**  
**Infantry Fighting Vehicle Hull**

### Zásady pro vypracování:

Vypracujte projekčně-konstrukční návrh korby bojového vozidla pěchoty využitelný v rámci jeho inovace nebo modernizace. K výrobě korby budou použity nové materiály, které zabezpečí požadovanou balistickou ochranu dle STANAGu 4569. Korba musí zabezpečit zástavbu stávajícího nebo modernizovaného motor-převodového a pohybového ústrojí, zbraňového systému a speciální výbavy.

### Výchozí parametry:

Typ korby: samonosná konstrukce, svařena

Rozměry korby:

délka: 6730 mm

šířka: 2800 mm

výška: min. 1200 mm

Provozní podmínky: klimatická pásma A2 a A3 dle STANAGu 2895

Balistická odolnost: hladina 3 dle STANAGu 4569, náboj 7,62x54R se střelou AP-I B32

### Proveďte:

- stručné zhodnocení konstrukce stávajících koreb u provozovaných vozidel v AČR,
- zpracování možných variant a výběr nejlepšího řešení dle zvolených kritérií,
- technickou zprávu s popisem korby, plnění jednotlivých požadavků v návaznosti na výkresovou dokumentaci a výpočtovou část technické zprávy,
- projekční návrh kompletního řešení korby,
- detailní konstrukční zpracování řešení hlavních dílů korby včetně zadní sklopné rampy, vybraných svarových spojů a upevňovacích prvků,
- výkresovou dokumentaci v celkovém rozsahu odpovídajícímu cca 2xAO.

### Seznam doporučené odborné literatury:

- [1]FS\_SME\_05\_003 verze: G *Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce.*,
- [2]ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura.* Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.
- [3] *Tank-26-8, Bojové vozidlo pěchoty BVP-1, Technický popis*, MNO, Praha 1977. 71 s.
- [4] *Tank-26-12, Bojové vozidlo pěchoty 2 (BVP-2), Popis*, MO, Praha 2000, 272s.
- [5] STANAG 4569, Edition 1: *Protection Levels for Occupants of Logistic and Light Armoured Vehicles.*

NATO/NSA, Brussels, May 2004, 7 s.

[6] Shigley. J., Mischke. Ch., Budynas. R., *Konstruování strojních součástí*, Brno, nakladatelství VUT IUM , 2010, 1186s, ISBN 978-80-214-2629-0.

[7] LEINVEBER, J.,ŘASA, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. Scientia, spol. s.r.o., 1999, pedagogické nakladatelství. 985 s. ISBN 80-7183-164-6.

[8] Firemní literatura a podklady, odborné časopisy apod.

[9] Literární rešerše zpracovaná v rámci Diplomového projektu.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář**

Datum zadání: 13.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015



---

doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář  
vedoucí katedry


---

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 18.05.2015

  
.....  
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 18.05.2015

  
.....  
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Ján Dzurenda

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Pazderna 114/31, 682 01 Vyškov

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

DZURENDA, J. *Korba bojového vozidla pěchoty: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2015, 92 s. Vedoucí práce: doc. Dr. Ing. Kovář, L.

Diplomová práce se zabývá návrhem korby pro modernizované vozidlo pěchoty BVP-1 a BVP-2 provozované v AČR. Řešení korby vychází z analytických a rozborových prací nových materiálů, faktorů ovlivňujících projektování balistické ochrany, matematických výpočtů, numerické simulace a experimentů. Navržená korba splňuje požadavek na balistickou ochranu dle STANAG 4569, pro náboj 7,62x54R se střelou AP-I B 32 a ostatní požadavky specifikované předpokládanými uživateli. Pro modernizované BVP je v souladu se zadáním navržena rampa s nouzovými dveřmi a závěsná oka, které jsou součástí korby pro modernizované BVP. Pro korbu a řešené díly jsou zpracovány 3D modely a výkresová dokumentace ve formě sestav a podsestav.

## ANNOTATION OF MASTER THESIS

DZURENDA, J. *Infantry Fighting Vehicle Hull: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2015, 92 pages. Master Thesis supervisor: doc. Dr. Ing. Kovář, L.

The Master Thesis deals with the design of body for modernised BVP-1 and BVP-2 infantry vehicles utilised by the Czech Army. The body's design is based on analysis of new materials, factors influencing the design of ballistic protection, mathematical calculations, numeric simulations and experiments. The designed body meets the requirements for ballistic protection according to the STANAG 4569, for 7.62x54R cartridge with AP-I B 32 bullet. It also meets other requirements specified by possible users. A ramp with emergency doors and lifting eyes that are part of the body of modernised BVP are designed in line with the specifications of modernised BVP. 3D models and technical drawings of assemblies and sub-assemblies have been produced for body and designed parts.

# Obsah

	strana
Seznam použitých značek .....	10
1. Úvod.....	12
2. Korby BVP provozované v AČR.....	13
2.1 Korba BVP-1.....	13
2.2 Korba BVP-2.....	14
2.3 Zhodnocení balistické ochrany .....	15
2.4 Dílčí závěr .....	16
3. Materiály pro korbu BVP.....	17
3.1 Ocelové pancíře.....	17
3.2 Pancíře z hliníkových a titanových slitin .....	18
3.3 Porovnání materiálů z hlediska balistické ochrany .....	19
3.4 Dílčí závěr .....	19
4. Analytické a rozborové práce.....	21
4.1 Faktory ovlivňující projektování balistické ochrany.....	21
4.1.1 Vliv tvrdosti pancíře na jeho tloušťku.....	21
4.1.2 Vliv tolerance dopadové rychlosti střely na tloušťku pancíře.....	22
4.1.3 Vliv výrobní tolerance pancéřových plechů na hmotnost korby.....	22
4.1.4 Vliv dopadového úhlu na tloušťku pancíře .....	24
4.1.5 Morfologická matice .....	26
4.1.6 Dílčí závěr .....	26
4.2 Pásmo s nižší balistickou odolností.....	27
4.2.1 Svarový spoj z pancéřové oceli ARMOX 500T.....	27
4.2.1.1 Charakteristika vzorku .....	27
4.2.1.2 Vzorek a podmínky měření tvrdosti.....	28
4.2.1.3 Výsledky měření .....	28
4.2.1.4 Vyhodnocení měření .....	29
4.2.1.5 Pásmo s nižší balistickou odolností.....	30
4.2.2 Svarový spoj z pancéřové oceli 2P.....	30
4.2.3 Koeficient výpočtu šířky TOO .....	31
4.2.4 Dílčí závěr .....	31
4.3 Dimenzování balistické ochrany .....	32
4.3.1 Pancéřový materiál.....	32
4.3.2 Prostředek ohrožení.....	32
4.3.3 Matematické modely.....	33
4.3.3.1 Empirický vztah de-Marra .....	34
4.3.3.2 Empirický vztah p-Nováka .....	34

4.3.4	Numerická simulace.....	35
4.3.4.1	Výchozí a okrajové podmínky .....	35
4.3.4.2	Výsledky numerické simulace .....	36
4.3.5	Balistický experiment.....	40
4.3.5.1	Předmět, podmínky a materiálně technické zabezpečení experimentu .....	40
4.3.5.2	Výsledky experimentu .....	40
4.3.5.3	Porovnání výsledků výpočtů, numerické simulace a experimentu .....	42
4.3.6	Dílčí závěr .....	43
5.	Konstrukční návrh korby.....	44
5.1	Čelní část korby .....	44
5.2	Boční část korby.....	45
5.3	Zadní část korby.....	45
5.4	Strop korby.....	46
5.5	Dno korby .....	47
5.6	Dílčí závěr .....	47
6.	Díly vozidla BVP.....	48
6.1	Rampa .....	48
6.1.1	Návrh řešení rampy .....	48
6.1.2	Výpočty pro návrh konstrukčního řešení rampy a dveří .....	50
6.1.2.1	Tloušťka pancíře a hmotnost rampy.....	50
6.1.2.2	Momenty v jednotlivých polohách otevírání rampy .....	51
6.1.2.3	Síla v ose hydraulických válců.....	52
6.1.2.4	Tlak v hydraulické soustavě.....	53
6.1.2.5	Průtok v hydraulické soustavě .....	53
6.1.2.6	Čep konzoly .....	54
6.1.2.7	Čep závěsu .....	56
6.1.3	Konstrukční návrh řešení rampy s nouzovými dveřmi .....	57
6.1.4	Dílčí závěr .....	60
6.2	Závěsná oka.....	61
6.2.1	Umístění závěsných ok na vozidle a geometrie závěsu .....	61
6.2.2	Zatížení závěsného oka .....	61
6.2.3	Vstupní údaje pro výpočty .....	62
6.2.4	Pevnostní výpočet .....	63
6.2.5	Výpočet napětí .....	64
6.2.5.1	Výpočet napětí od složky síly $F_y$ .....	65
6.2.5.2	Výpočet napětí v průřezu A-A .....	66
6.2.5.3	Výpočet napětí v průřezu B-B.....	66
6.2.5.4	Výsledná napětí v průřezích závěsného oka.....	67
6.2.5.5	Návrh materiálu závěsného oka .....	68



6.2.6	Konstrukční návrh závěsného oka.....	69
6.2.7	Svarové spoje závěsného oka.....	69
6.2.7.1	Konstrukční řešení svarových spojů a síly působící na závěsná oka .....	69
6.2.7.2	Pevnostní kontrola.....	70
6.2.8	Pevnostní analýza závěsných ok .....	72
6.2.9	Dílčí závěr .....	74
7.	Konstrukční návrh korby s řešenými díly .....	75
7.1	Model korby s řešenými díly.....	75
7.2	Pravděpodobnost ochrany .....	77
8.	Závěr .....	79
9.	Seznam literatury .....	81
10.	Seznam příloh .....	83

## Seznam použitých značek

Značka	Jednotka	Popis
AČR	[-]	Armáda České republiky
API B32	[-]	Označení průbojné zápalné střely pro náboj 7,62x54R
AP	[-]	Průbojná střela
AP (WC)	[-]	Průbojná střela s jádrem z karbidu wolframu
AEP-55	[-]	Spojenecká technická publikace. Postupy pro hodnocení hladin ochrany logistických a lehce pancéřovaných vozidel
ARMOX 500	[-]	Značka pancéřové oceli
ČOS	[-]	Český obranný standard
ČR	[-]	Česká republika
ČSN	[-]	Česká technická norma
ČSN EN	[-]	ČSN evropská norma, ČSN je v souladu s odpovídající normou Evropské unie
BVP-1	[-]	Bojové vozidlo pěchoty BVP-1
BVP-2	[-]	Bojové vozidlo pěchoty BVP-2
g	[m·s <sup>-2</sup> ]	Tíhové zrychlení
k	[-]	Součinitel bezpečnosti
K	[-]	Koeficient
K <sub>1</sub> , K <sub>2</sub>	[-]	Konstanta odolnosti
l	[mm]	Délka
m	[kg]	Hmotnost
M	[N·mm]	Moment
M <sub>0</sub>	[N·mm]	Ohybový moment
NATO	[-]	North Atlantic Treaty Organization (Severoatlantická obranná aliance)
p	[MPa]	Tlak
Re	[MPa]	Mez kluzu materiálu
Rm	[MPa]	Mez pevnosti materiálu
R <sub>A</sub> , R <sub>B</sub>	[N]	Reakce v bodě A a v bodě B
R <sub>st</sub>	[mm]	Ráže střely
s	[m <sup>2</sup> ]	Plocha
SK	[-]	Svarový kov
STANAG	[-]	Standardization Agreement (Standardizační dohoda)
š	[mm]	Šířka
t	[mm]	Tloušťka
TMZ	[-]	Termomechanické zpracování
TOO	[-]	Tepelně ovlivněná oblast
V <sub>dop</sub>	[m·s <sup>-1</sup> ]	Dopadová rychlost
V <sub>lim</sub>	[m·s <sup>-1</sup> ]	Limitní dopadová rychlost střely
VTÚ	[-]	Vojenský technický ústav
VTÚPV	[-]	Vojenský technický ústav pozemního vojska
VVÚ	[-]	Vojenský výzkumný ústav
ZM	[-]	Základní materiál
x <sub>n</sub>	[mm]	Souřadnice bodu N na ose x
y <sub>n</sub>	[mm]	Souřadnice bodu N na ose y
α	[°]	Dopadový úhel
ρ	[kg·m <sup>-3</sup> ]	Měrná hmotnost
σ <sub>DOV</sub>	[MPa]	Dovolené napětí
σ <sub>0</sub>	[MPa]	Ohybové napětí
σ <sub>RED</sub>	[MPa]	Redukované napětí

$\tau$	[MPa]	Smykové napětí
2P	[-]	Označení pancéřové oceli vyráběné na území ČSSR do roku 1989

## 1. Úvod

Téma diplomové práce "Korba bojového vozidla pěchoty" spadá do oblasti předmětu podnikání státních podniků založených Ministerstvem obrany ČR a do oblasti speciální výroby firem a společností sdružených v Asociaci obraného a bezpečnostního průmyslu.

Z dostupných informací publikovaných resortem MO vyplývá, že ve výzbroji AČR je přibližně 600 kusů vozidel na podvozku bojového vozidla pěchoty BVP-1, bojového vozidla pěchoty BVP-2 a obrněného transportéru OT-90. Vozidla neplní současné požadavky na ně kladené. Jedním ze základních nedostatků je i nedostatečná balistická ochrana vozidel. Dílčí modernizace vozidel BVP-1 a BVP-2 realizované pro potřeby AČR byly řešeny výzkumně-vývojovou základnou AČR, vojenskými opravárenskými podniky a podniky českého průmyslu se speciální výrobou v letech 1971 až 2014. Do konce roku 2014 nebyla zrealizována a do AČR zavedena žádná komplexní modernizace. Všechny modernizace předpokládaly zvýšení balistické ochrany použitím přídatného pancéřování na stávající korby.

Cílem diplomové práce je na základě rozborů a analýz současného stavu řešení pásových a kolových BVP, teoretických rozborů dostupných balistických materiálů, analýz faktorů ovlivňujících projektování balistické ochrany a požadavků na modernizované BVP navrhnout korbu pro modernizované vozidlo pěchoty BVP-1 a BVP-2 o celkové hmotnosti 18 000 kg splňující požadavek na balistickou ochranu v rozsahu částečné hladiny 3 STANAG 4569.

V rámci návrhu řešení korby se požaduje zpracovat 3D model, který umožní zpracovat konstrukční a výrobní dokumentaci. Pro modernizované BVP se požaduje vyřešit záměnu zadních dveří pro nastupování a vystupování členů roje za sklopnou rampu s nouzovými dveřmi a vyřešit závěsná oka v souladu s požadavky normy STANAG 4062.

## 2. Korby BVP provozované v AČR

V AČR je od roku 1969 provozované bojové vozidlo pěchoty 1 (BVP-1) a od roku 1998 bojové vozidlo pěchoty 2 (BVP-2). Modifikace (odvozené typy) BVP-1 a BVP-2 byly do AČR zaváděny v letech 1971 až 1999. Korby u modifikací kromě objektu SNĚŽKA a AMBULANCE jsou shodné se základním typem vozidel. U objektu SNĚŽKA je korba prodloužená o jedno pojezdové kolo, u objektu AMBULANCE je korba zvýšená v prostoru roje.

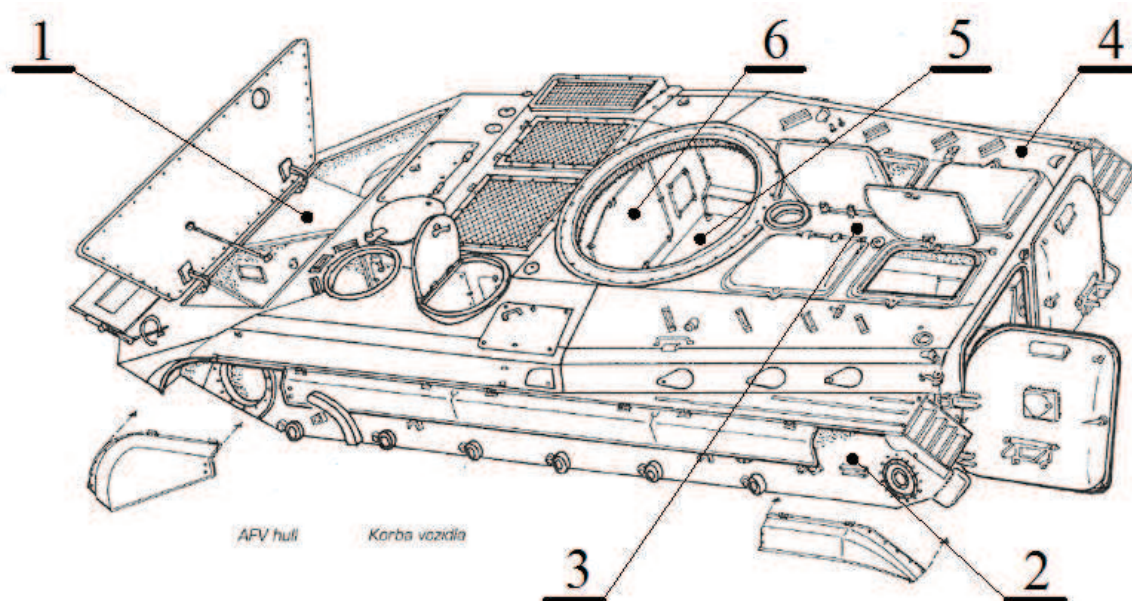
Modernizace korby vozidel BVP-1 a BVP-2 v AČR z hlediska zvýšení její balistické ochrany nebyla provedena. Studie modernizace vozidel BVP a provedené modernizace v tuzemsku i v zahraničí řeší zvýšení balistické ochrany pouze na bázi přídatného pancéřování při zachování stávající korby.

### 2.1 Korba BVP-1

V době svého vzniku tj. počátkem 60. let lze vozidlo BVP-1 spolehlivě označit za revoluční přelom v konstruování vozidel určených pro přepravu mechanizovaného družstva. Žádná tehdejší konstrukce obdobného prostředku neměla tak všestranné použití. Nízký a plochý tvar vozidla znesnadňoval rozpoznání v terénu i na horizontu. Pancéřování spolehlivě chránilo osádku vozidla, výsadkový roj i všechny agregáty proti účinkům střelných pěchotních zbraní a střepinám min a granátů.

Pancéřová korba vozidla slouží k ochraně osádky, zbraní, munice, skupin, podskupin a dílů vozidla před střelami protivníka a k ochraně osádky před pronikavou radiací jaderného výbuchu. Korba je kostrou vozidla, která spojuje do jednoho celku všechny skupiny, podskupiny a díly vozidla. Zachycuje všechna zatížení vznikající při jízdě, při překonávání překážek a při plavbě. Hermetické provedení korby umožňuje překonávání vodních překážek plaváním.

Korba vozidla BVP-1 (viz. obr. 1) má pouze pasivní balistickou ochranu zabezpečenou ocelovými pancíři z oceli 2P a z pancířů hliníkových slitin. Skládá se z čelní části, bočnic, zadní části, stropu, dna a motorové přepážky. [1], [2]



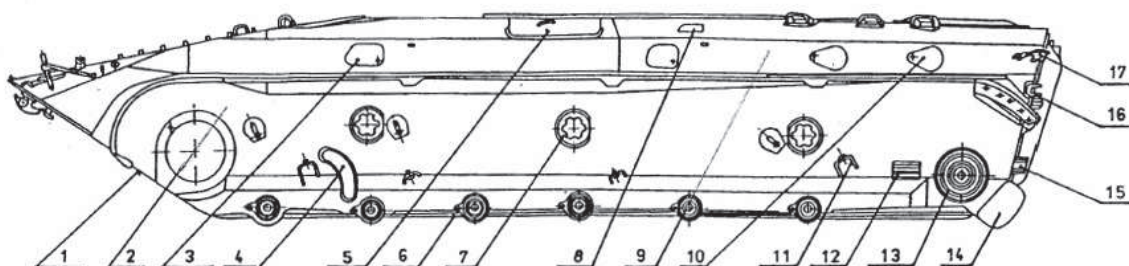
Obr. 1 - Korba vozidla BVP-1 [2]

1 - čelní část, 2 - bočnice, 3 - zadní část, 4 - strop, 5 - dno, 6 - motorová přepážka

## 2.2 Korba BVP-2

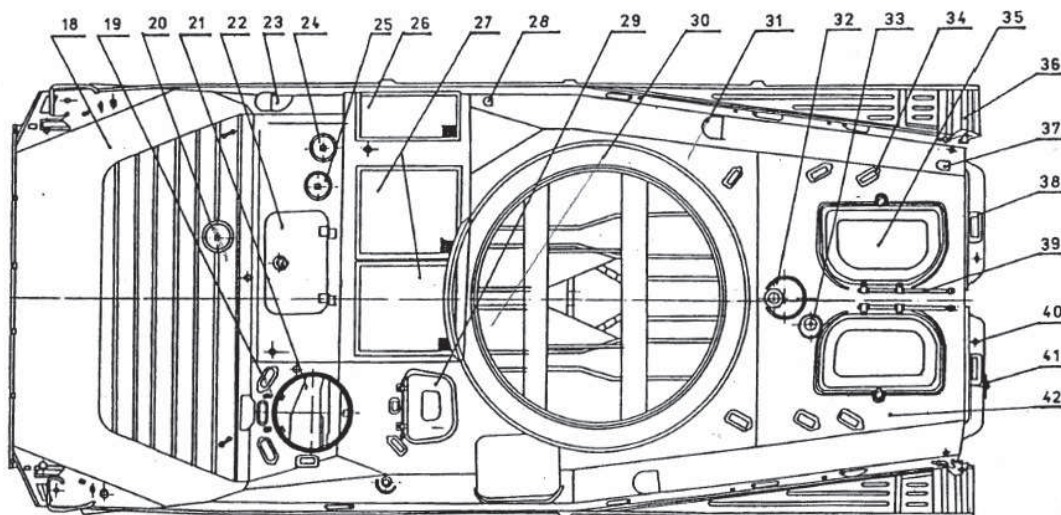
Vozidlo BVP-2 je zkonstruováno na bázi podvozku BVP-1. Je v podstatě modernizovaným vozidlem BVP-1, na které přímo navazuje. Rozdíly mezi oběma vozidly u podvozkové části jsou v použité pancéřové oceli TMZ u některých pancéřových detailů a v počtu příklopů nad prostorem roje. Použité pancéřové plechy z oceli TMZ zabezpečují při nižší tloušťce stejnou balistickou ochranu jako je u vozidla BVP-1. Jejich použitím se kompenzovala zvýšená hmotnost věžového kompletu. [3]

Korba vozidla BVP-2 (viz. obr. 2 a 3) má stejně jako korba BVP-1 pouze pasivní balistickou ochranu zabezpečenou ocelovými pancíři z oceli 2P, TMZ a z pancířů hliníkových slitin.



Obr. 2 - Boční průřez korby [3]

1 - dolní šikmý pancíř, 2 - boční pancíř, 6 - dno korby, 9 - stropní pancíř boční,  
17 - zadní šikmý pancíř



Obr. 3 - Přodorys korby [3]

18 - horní šikmý pancíř, 19 - stropní pancíř kolem příklopu řidiče, 20 - čelní horní pancíř II,  
22 - příklop nad motorem, 29 - příklop člena roje, 30 - přední část podlahy, 31 - stropní  
pancíř střední, 35 - příklop roje, 40 - zadní dveře, 42 - stropní pancíř

Skutečné tloušťky a konstrukční úhly hlavních pancéřových detailů korby vozidel BVP-1 a BVP-2 jsou uvedeny v [4].

### 2.3 Zhodnocení balistické ochrany

Balistická ochrana vozidla BVP-1 i vozidla BVP-2 proti účinku projektilů s kinetickou energií je definována výrobcem v rozsahu tabulky 1.

Tab. 1 - Balistická ochrana vozidel BVP-1 a BVP-2

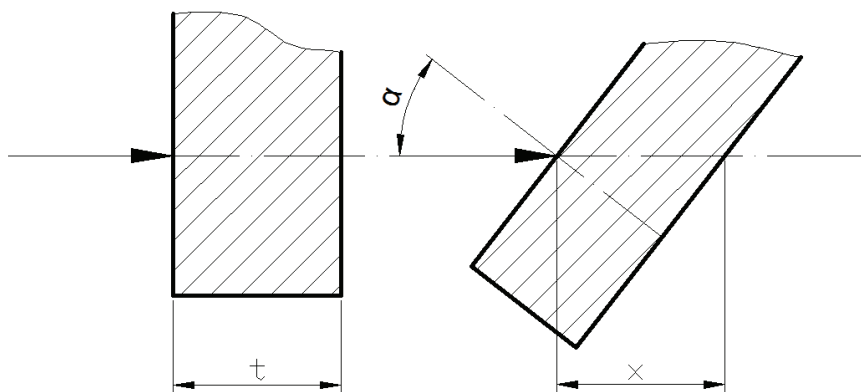
Označení náboje	Vzdálenost střelby [m]	Kurzový úhel ostřelování [°]	Úhel sklonu vozidla [°]	Měřená rychlost [m.s <sup>-1</sup> ]	Dopadová rychlost [m.s <sup>-1</sup> ]
23 mm BZT	-	0	0	-	770 ±5
7,62 mm x 54R AP-I B32	75	0 až 360	0	808 ±10	-

Při hodnocení balistické ochrany korby dle požadavků hladin STANAG 4569 byly využity publikované výsledky balistické odolnosti pancéřové oceli 2P, průbojnost nábojů ráže 7,62 mm a provedené výpočty. [4], [5]

Splnění požadavků hladiny 3 STANAG 4569 [6] pancéřovými detaily korby je možné vyhodnotit jako rozdíl průmětu tloušťky pancíře do směru dráhy letu střely a limitní tloušťky pancíře z oceli 2P zabezpečující ochranu osádky proti:

- náboji 7,62 mm x 54R AP-I B32, limitní tloušťka je 18,0 mm,
- náboji 7,62 mm x 51 AP (WC), limitní tloušťka je 23,0 mm.

Výpočet průmětu tloušťky pancíře do směru dráhy letu střely (viz. obr. 4) se provede podle vztahu (1).



Obr. 4 - Tloušťka pancíře ve směru dráhy letu střely

$$x = \frac{t}{\cos \alpha} \quad [\text{mm}] \quad (1)$$

x - průmět tloušťky pancíře do směru dráhy letu střely [mm]

t - minimální tloušťka pancéřového detailu [mm]

Hodnoty tlouštěk tří pancéřových detailů korby jsou uvedeny v tabulce 2. Hladina 3 STANAG 4569 je definována kurzovým úhlem ostřelování 0° až 360° a sklonem vozidla 0° až 30°.

Tab. 2 - Tloušťky pancéřových detailů korby

Označení pancéřového detailu	Tloušťka pancéřového detailu [mm]	Dopadový úhel v rámci sklonu vozidla 0° až 30° [°]	Tloušťka pancéřového detailu pro střelu AP-I B32 [mm]	Tloušťka pancéřového detailu pro střelu AP (WC) [mm]
Čelní dolní pancíř	18,0	56,0	10,0	12,9
Boční pancíř	16,0	0,0	18,0	23,0
Zadní pancíř	18,0	13,5	17,5	22,4

Zhodnocení balistické ochrany korby vozidla BVP-1 a BVP-2 vzhledem k hladině 3 STANAG 4569 je uvedeno v tabulce 3.

Tab. 3 - Zhodnocení balistické ochrany

Hladina ochrany podle STANAG 4569	Náboj a střela	Plnění požadavků na ochranu podle STANAG 4569
3	7,62 mm x 54R AP-I B32	Plní částečně
	7,62 mm x 51 AP (WC)	Neplní

## 2.4 Dílčí závěr

V AČR jsou zavedeny a provozovány dva základní typy bojových vozidel pěchoty na pásovém podvozku a to vozidlo BVP-1 a BVP-2.

Bojové vozidlo pěchoty BVP-1 i BVP-2 má pouze pasivní balistickou ochranu zabezpečenou ocelovými pancíři a pancíři z hliníkových slitin. U vozidla BVP-1 jsou pancíře z oceli 2P, u vozidla BVP-2 je kromě oceli 2P použita pro některé pancéřové detaily i ocel TMZ. Balistická ochrana obou typů vozidel proti účinku projektilů s kinetickou energií je stejná a je definována v rozsahu podle tabulky 1. Použití pancéřové oceli TMZ s vyšším stupněm balistické odolnosti vedlo pouze ke snížení hmotnosti korby vozidla BVP-2.

Z dostupných materiálů vyplývá, že vozidlo BVP-1 ani BVP-2 neplní požadavky na balistickou ochranu v rozsahu hladiny 3 STANAG 4569. Studie modernizace BVP-1, BVP-2 a provedené modernizace v tuzemsku i v zahraničí řeší zvýšení balistické ochrany formou přídavného pancéřování. Technicky a ekonomicky není rozpracována varianta řešení balistické ochrany korby s využitím nových pancéřových materiálů dostupných na tuzemském nebo zahraničním trhu.



### 3. Materiály pro korbu BVP

Hlavní požadavky na bojovou pozemní techniku jsou palební síla, mobilita a ochrana. Ochrana techniky zahrnuje i balistickou ochranu spočívající v ochraně před přímou palbou ze všech směrů, ochraně proti pěchotním minám a ochraně proti střepinám dělostřeleckých granátů. Balistická ochrana se zabezpečuje pancéřováním, pro které se využívají progresivní kovové materiály. Hlavními představiteli kovových materiálů pro řešení balistické ochrany koreb bojových vozidel pěchoty jsou:

- ocel,
- litiny hliníku,
- slitiny titanu.

#### 3.1 Ocelové pancíře

Ocelové pancíře jsou nejstarším a dosud nejvíce používaným pancéřovým materiálem v konstrukci bojových obrněných vozidel. Hlavními charakteristikami ocelových pancířů z hlediska penetrace protipancéřových střel jsou tvrdost, mechanické vlastnosti, balistická odolnost a svařitelnost. Ocelové pancíře lze rozdělit na homogenní s tvrdostí do 550 HB a pevnosti do 1800 MPa, homogenní s tvrdostí nad 550 HB a pevnosti až 2300 MPa a heterogenní s čelní vrstvou s tvrdostí nad 600 HB a zadní vrstvou pod 550 HB.

Homogenní ocelové pancíře s tvrdostí do 550 HB jsou vhodné zejména pro konstrukci koreb, věží a kontejnerů. Přehled nepoužívanějších homogenních pancéřových ocelí s tvrdostí do 550 HB je uveden v tabulce 4.

Tab. 4 - Přehled homogenních pancéřových ocelí s tvrdostí do 550 HB

Poř. č.	Označení oceli	Země původu	Tloušťka [mm]	Tvrdost HB
1	SECURE 400	SRN	4 - 20	380 - 430
2	SECURE 450	SRN	4 - 20	400 - 480
3	SECURE 500	SRN	4 - 20	480 - 530
4	ARMOX 370T	Švédsko	5 - 20	380 - 430
5	ARMOX 440T	Švédsko	5 - 20	420 - 480
6	ARMOX 500T	Švédsko	5 - 20	480 - 540
7	MIL-A-12560H	USA	5 - 12,7 2,8 - 19,1	341 - 388 331 - 375
8	MIL-A-46100D	USA	5 - 50	477 - 534
9	MIL-A-46186	USA	2,5 - 16	min. 507
10	2P	ČSSR	4 - 7 8 - 22	444 - 514 363 - 495
11	VZ BH 500 (TMZ)	ČSSR	4 - 7 8 - 14	461 - 534 415 - 495

Srovnání ocelových pancířů na základě fyzikálně metalurgických a balistických vlastností publikované v dostupné literatuře [8] je uvedeno v tabulce 5.

Tab. 5 - Srovnání ocelových pancířů

Označení pancéřové oceli	Srovnatelná pancéřová ocel
ARMOX 300T	MIL 12560
ARMOX 400T	MIL 12560
ARMOX 500T	MIL 46100
ARMOX 600T	MIL 46173
2P	MIL 46100
77 (TMZ)	MIL 46173

Homogenní ocelové pancíře s tvrdostí nad 550 HB se vyznačují vysokou tvrdostí. Doprovodným jevem vysoké tvrdosti těchto pancířů je křehkost, která se projevuje praskáním po nástřelu. Jsou vhodné pro přídavné pancéřování připevněné na základní pancíř nejčastěji šroubovými spoji. Přehled nejpoužívanějších homogenních pancéřových ocelí s tvrdostí nad 550 HB je uveden v tabulce 6. Špičkové pancéřové oceli tohoto typu vykazují úsporu hmotnosti až 20 % ve srovnání s oceli tvrdosti 500 HB.

Tab. 6 - Přehled homogenních pancéřových ocelí s tvrdostí nad 550 HB

Poř. č.	Označení oceli	Země původu	Tloušťka [mm]	Tvrdost HB
1	SECURE 600	SRN	5 - 20	570 - 640
2	ARMOX 600T	Švédsko	5 - 20	570 - 640
3	ADVANCE	Švédsko	-	610 - 705
4	MARS	Francie	3 - 25	578 - 655

Heterogenní ocelové pancíře (duální pancíře) mají stejné použití jako homogenní svařitelné ocelové pancíře při nižších nárocích na tloušťku pancéřových detailů a tedy i na hmotnost. Vlastní pancíř je tvořen vysoce tvrdou vrstvou (až 600 HB) a měkkí houževnatou vrstvou s tvrdostí pod 550 HB, které jsou metalurgicky spojené (např. válcováním za tepla).

Duální ocelové pancíře umožňují snížení hmotnosti až o 30 % ve srovnání s pancéřovými oceli. Problémem je zvládnutí technologie jejich výroby, zpracování a vysoká cena.

Podrobný rozbor ocelových pancířů je proveden v [7] a [8].

### 3.2 Pancíře z hliníkových a titanových slitin

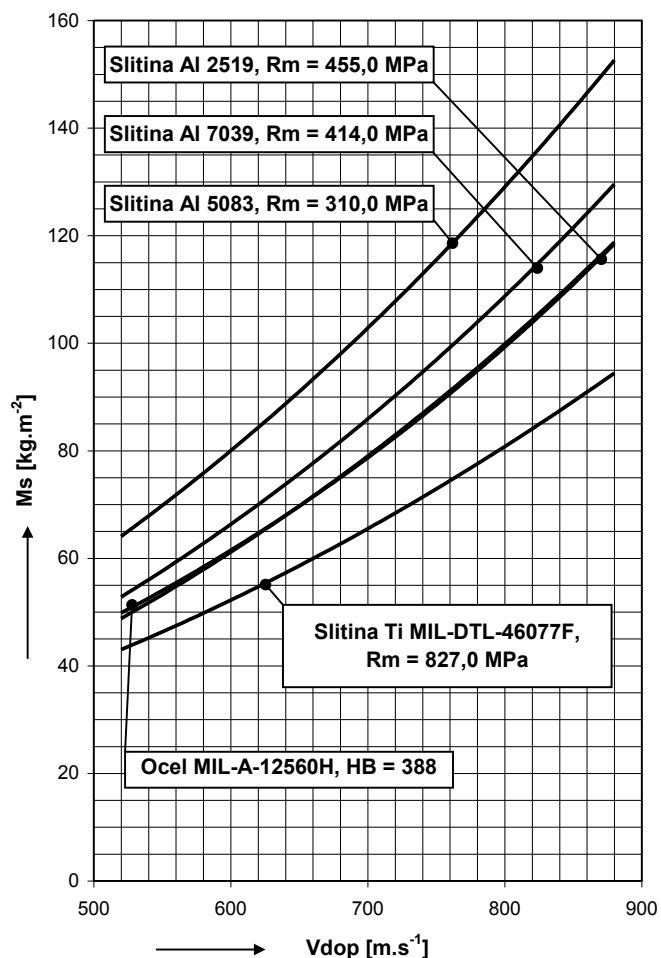
Pancíře na bázi slitin hliníku jsou užívány v konstrukci lehké bojové techniky v USA, Velké Británii a Rusku. Hustota slitin hliníku ( $2660 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) je zhruba třetinová ve srovnání s ocelí ( $7850 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ). Jako základní slitina je používána slitina 5083 s pevností  $R_m = 360 \text{ MPa}$  a tvrdostí 75 HB. Tento materiál vykazoval při stejné střelecké odolnosti hmotnostní úsporu vůči pancéřové oceli s tvrdostí 380 HB pouze proti malorážovým střelám s měkkým jádrem. Proti průbojně munici byla pro zachování balistické odolnosti hmotnost pancéřové desky z hliníkové slitiny dokonce vyšší. Tento nedostatek byl odstraněn použitím vytvrditelných hliníkových slitin (slitiny 2519 a 7039) s pevností až 500 MPa a tvrdostí 150 HB, které i proti průbojným střelám vykazují hmotnostní úsporu ve srovnání s ocelí tvrdosti 380 HB. Problémem je svařování slitin v důsledku nebezpečí vzniku koroze pod napětím v tepelně ovlivněné oblasti svaru.

Pancíře na bázi slitin titanu jsou používány výjimečně. Jedná se především o svařitelnou slitinu s 6 % Al a 4 % V podle MIL-T-46077. Měrná hmotnost je cca  $4630 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  a pevnost až 950 MPa. Pancéřové desky jsou vyráběny v tloušťkách 5 až 52 mm. Jejich nevyužívání pro pozemní vojenskou techniku je z důvodu vysoké ceny.

Podrobný rozbor pancířů na bázi slitin hliníku a titanu je proveden v [7] a [8].

### 3.3 Porovnání materiálů z hlediska balistické ochrany

Dostupné soubory balistických limitů umožňují porovnání jednotlivých kovových materiálů pro střelu AP M2 ráže 7,62 mm při dopadovém úhlu  $0^\circ$  viz. obrázek 5. [9]



Obr. 5 - Průběhy balistických limitů pro pancíře z oceli, slitin hliníku a slitiny titanu [9]

Na základě provedených rozborů a analýz [8] se navrhuje pro výrobu nové korby bojového vozidla pěchoty použít pancéřovou ocel ARMOX 500T nebo SECURE 500.

### 3.4 Dílčí závěr

Na základě provedených teoretických rozborů a analýz fyzikálně mechanických a balistických vlastností kovových materiálů [8] je doporučena pro výrobu nové korby bojového vozidla pěchoty pancéřová ocel ARMOX 500T nebo SEKURE 500. Pro výpočty, simulaci, experiment a návrh nové korby bojového vozidla pěchoty budou použity fyzikálně mechanické a balistické parametry oceli ARMOX 500T udávané výrobcem.

Chemické složení oceli, hlavní hodnoty mechanických vlastností a ostatní vlastnosti oceli ARMOX 500T jsou uvedeny v tabulce 7 až 10. [10]

Tab. 7 - Chemické složení [hm. %]

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	B
≤ 0,32	0,1–0,4	≤ 1,2	≤ 0,015	≤ 0,010	≤ 1,0	≤ 0,7	≤ 1,8	≤ 0,005

Tab. 8 - Mechanické vlastnosti

Tvrdost HB	Mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]	Mez pevnosti $R_m$ [MPa]	Tažnost A [%]	Rázová práce KV (-40 °C) [J]
480 až 540	1 250	1 450 - 1 750	8	25

Tab. 9 - Ostatní vlastnosti

Měrná hmotnost $\rho$ [kg·m <sup>-3</sup> ]	Uhlíkový ekvivalent $C_{ekv}$ [%]	Teplota přehřevu $T_p$ [%]
7 850	0,67 - 0,75	-

Tab. 10 - Tolerance tloušťky

Jmenovitá tloušťka plechu [mm]	Tolerance na tloušťku [mm]	
	Plus	Minus
< 13	0,8	0,0
13 - 20	1,0	0,0
20 - 30	1,2	0,0

Dostupnost na trhu - výroba oceli ARMOX je u společnosti SSAB Oxelösund ve Švédsku. Společnost má zastoupení v ČR.

Technologie - obrábění a svařování je zvládnuté v českých společnostech se speciální výrobou.

Technika v AČR - ocel ARMOX 500T byla použita na výrobu koreb vozidel KBVP a balistických kontejnerů.

## 4. Analytické a rozborové práce

Pro vlastní návrh korby pro modernizované BVP bylo kromě publikovaných a dostupných informací nutno zabezpečit další nezbytné informace. Tyto informace byly získány:

- provedením analytických a rozborových prací faktorů ovlivňující projektování balistické ochrany,
- laboratorním rozbohem svarového spoje a stanovením pásma s nižší balistickou odolností,
- numerickou simulací a experimenty.

### 4.1 Faktory ovlivňující projektování balistické ochrany

Interakce střely a pancíře je složitý děj, který ovlivňuje řada faktorů. Tyto faktory mají vliv i na stanovování balistické ochrany pancéřových detailů. Mezi základní faktory, které je nutno zohlednit při projektování korby BVP z hlediska balistické ochrany patří:

- tvrdost pancířů,
- tolerance dopadové rychlosti střely,
- výrobní tolerance pancéřových plechů,
- dopadový úhel.

#### 4.1.1 Vliv tvrdosti pancíře na jeho tloušťku

Vliv tvrdosti pancíře na jeho tloušťku pro nespécifikovanou průbojnou střelu ráže 7,62 mm je rozpracován v [11]. Z publikovaných údajů byl odvozen vztah (2).

$$t = 45,48 - 5,28 \cdot \ln HB \quad [\text{mm}] \quad (2)$$

Výrobce pancéřové oceli ARMOX 500T [10] garantuje balistickou odolnost v rozsahu tvrdosti 480 HB až 540 HB. Tloušťka pancíře na spodní hranici tvrdosti dle vztahu (2) je:

$$t = 45,48 - 5,28 \cdot \ln 480 = 12,88 \text{ mm}$$

Pro horní hranici tvrdosti je tloušťka pancíře 12,26 mm. Rozdíly tloušťky pancíře v závislosti na jeho tvrdosti jsou uvedeny na obrázku 6. Maximální rozdíl v tloušťce pancíře je 0,62 mm.



Obr. 6 – Závislost tloušťky pancíře na jeho tvrdosti

Z důvodu, že výrobce garantuje balistickou odolnost v rozsahu předepsané tvrdosti a rozdíl tloušťky pancíře na jeho tvrdosti je max. 0,62 mm, nebude se při projektování korby BVP zohledňovat jeho tvrdost. Z provedených dodávek pancéřových plechů vyplývá, že plechy jsou většinou zpracovány na střední a vyšší hodnotu předepsané tvrdosti. Přepočet limitní tloušťky pancíře v závislosti na tvrdosti se bude při projektování korby BVP provádět pouze při použití pancéřové oceli s nižší nebo vyšší tvrdostí např. oceli ARMOX 440, ARMOX 600 a při řešení tvrdonávarů u svarových spojů.

#### 4.1.2 Vliv tolerance dopadové rychlosti střely na tloušťku pancíře

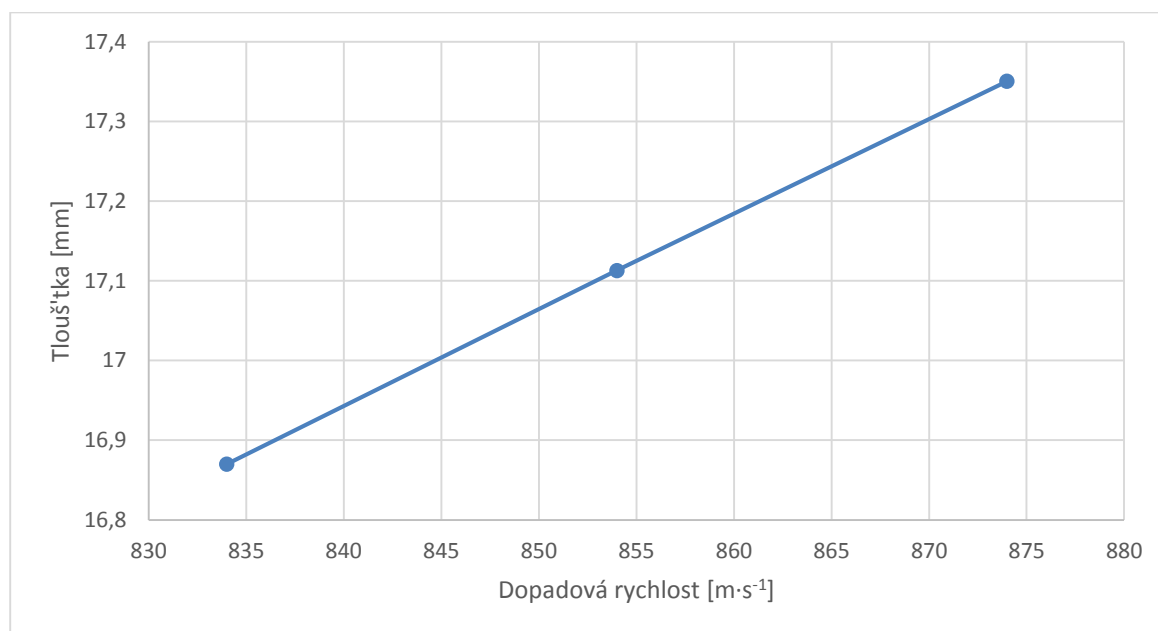
V STANAG 4569 [6] je pro střelu AP-I B32 náboje 7,62 mm x 54R předepsaná dopadová rychlost  $854 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Tolerance dopadové rychlosti u jednotlivých nástřelů je  $\pm 20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Pro stanovení vlivu velikosti dopadové rychlosti na tloušťku pancíře je použit vztah (3).

$$t = 10,257 \cdot \ln V_{dop} - 52,121 \text{ [mm]} \quad (3)$$

Výpočet tloušťky pancíře pro dopadovou rychlost  $874 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  :

$$t_{874} = 10,257 \cdot \ln 874 - 52,121 = 17,35 \text{ mm}$$

Závislost tloušťky pancíře z oceli 2P na dopadové rychlosti je uvedena na obrázku 7.



Obr. 7 - Závislost tloušťky pancíře na dopadové rychlosti střely

Ze závislosti na obrázku 2 vyplývá, že tloušťka pancíře musí být pro dopadovou rychlost s horní tolerancí o 0,48 mm větší než při dopadové rychlosti s dolní tolerancí. Z tohoto důvodu bude pro výpočet tloušťky pancéřových detailů použita maximální hodnota dopadové rychlosti tj.  $874 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Tato rychlost bude použita i pro numerickou simulaci a provedení experimentů.

#### 4.1.3 Vliv výrobní tolerance pancéřových plechů na hmotnost korby

Výrobce pancéřových plechů z oceli ARMOX 500T [10] dodává plechy s výrobní tolerancí uvedenou v tabulce 10.

Plošná hmotnost pancéřových plechů pro různé jmenovité tloušťky lze stanovit ze vztahu (4):

$$m_p = \check{s} \cdot d \cdot t_j \cdot \rho \text{ [kg]} \quad (4)$$

$m_p$  - plošná hmotnost pro jmenovitou tloušťku [kg]

$\check{s}$  - šířka vzorku [m]

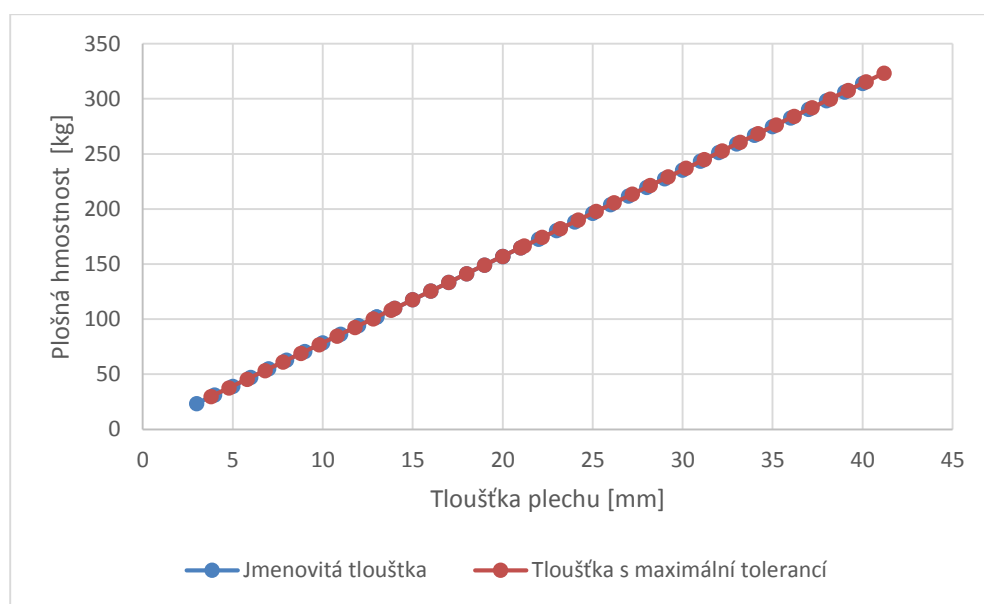
$d$  - délka vzorku [m]

$t_j$  - jmenovitá tloušťka vzorku [m]

Výpočet plošné hmotnosti plechu tloušťky 3 mm dle vztahu (4) pro 1 m<sup>2</sup>:

$$m_p = 1 \cdot 1 \cdot 0,003 \cdot 7850 = 23,55 \text{ kg}$$

Závislost plošné hmotnosti plechu na jeho tloušťce je zobrazena na obrázku 8.



Obr. 8 - Závislost plošné hmotnosti na tloušťce

Rozdíl plošné hmotnosti pancéřového plechu na jeho výrobní toleranci se stanoví ze vztahu (5):

$$\Delta m_p = m_{pt} - m_p \text{ [kg]} \quad (5)$$

$\Delta m_p$  - rozdíl plošné hmotnosti [kg]

$m_{pt}$  - plošná hmotnost pro tloušťku s maximální výrobní tolerancí [kg]

$$\Delta m_p = 29,83 - 23,55 = 6,28 \text{ kg}$$

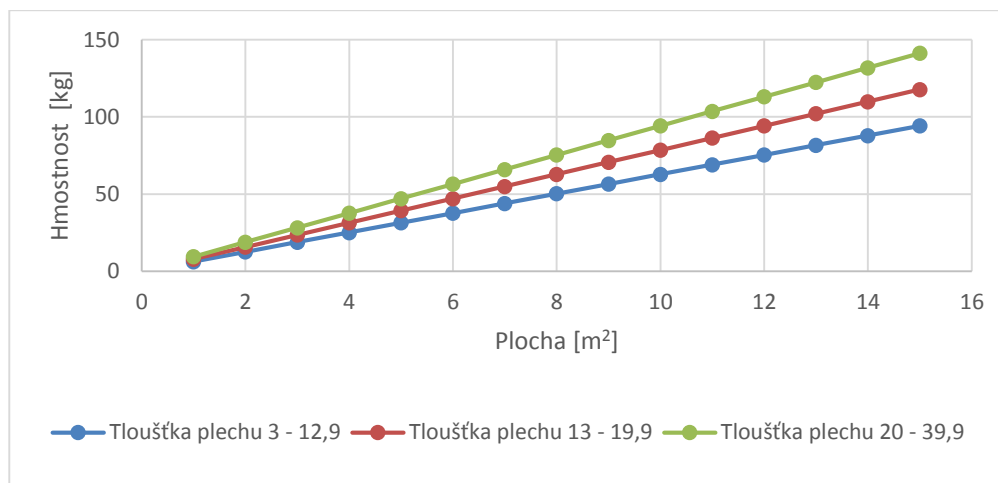
Zvýšení hmotnosti pancéřového plechu na jeho výrobní toleranci se stanoví ze vztahu (6):

$$m = s \cdot \Delta m_p \text{ [kg]} \quad (6)$$

$$m = 1 \cdot 6,28 = 6,28 \text{ kg}$$

$s$  - plocha pancéřového plechu o rozměru 1 x 1 m [m<sup>2</sup>]

Zvýšení hmotnosti plechu na jeho plochu je uvedeno na obrázku 9.



Obr. 9 - Zvýšení hmotnosti plechu na jeho plochu

V praxi se používají následující pojmy hmotnosti pro posuzování jednotlivých plechů a celé korby:

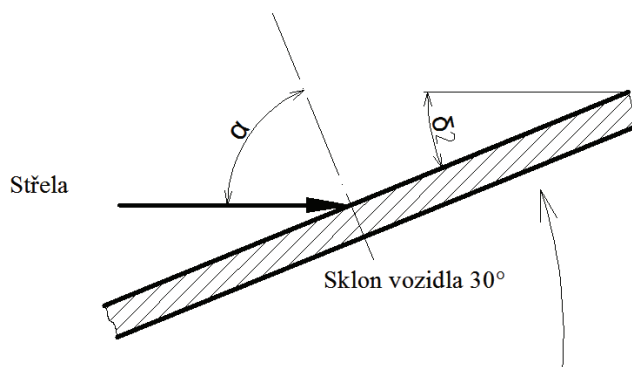
- minimální hmotnost - pro výpočet hmotnosti se použije jmenovitá tloušťka plechu,
- reálná hmotnost - pro výpočet hmotnosti se stanoví tloušťka plechu jako součet jmenovité tloušťky a 2/3 výrobní tolerance,
- maximální hmotnost - pro výpočet hmotnosti se stanoví tloušťka plechu jako součet jmenovité tloušťky a horní hodnoty výrobní tolerance.

#### 4.1.4 Vliv dopadového úhlu na tloušťku pancíře

Dopadový úhel střely na pancíř ( $\alpha$ ) je úhel mezi normálou k vnějšímu povrchu pancíře v bodu dopadu střely a tečnou k dráze letu střely ve stejném bodě. Na jeho stanovení a velikost mají vliv další úhly uvedeny v [12], sklon a náklon vozidla.

Přímé určení dopadového úhlu je možné pouze při náklonu pancéřového detailu v jedné rovině. Složitější je jeho určení při náklonu pancéřového detailu ve dvou nebo třech rovinách.

**Stanovení dopadového úhlu v jedné rovině:**



Obr. 10 - Podmínky určení dopadového úhlu pro případ A

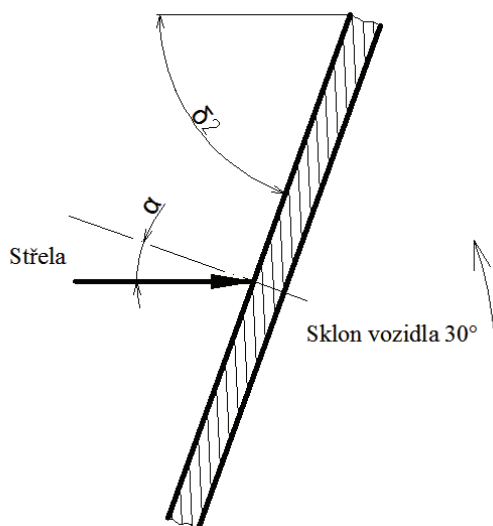


Výpočet dopadového úhlu  $\alpha$  se provede podle vztahu (7):

$$\alpha = (90 - \delta_2) - \lambda \text{ [}^\circ\text{]} \quad (7)$$

$\delta_2$  – konstrukční uhel  $22^\circ$ ,  
 $\lambda$  – sklon vozidla  $30^\circ$ .

$\alpha = (90 - 22) - 30 = 38^\circ$ , úhel je větší než  $0^\circ$ , proto je dopadový úhel  $38^\circ$ .

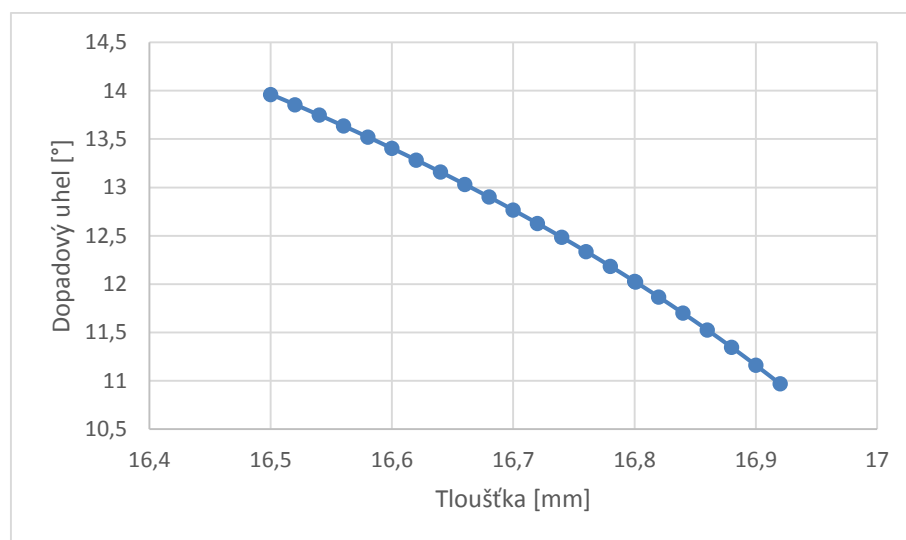


Obr. 11 - Určení dopadového úhlu pro variantu B

$\delta_2$  – konstrukční uhel  $70^\circ$ ,  
 $\lambda$  – sklon vozidla  $30^\circ$ .

$\alpha = (90 - 70) - 30 = -10^\circ$ , úhel je menší než  $0^\circ$ , proto je dopadový úhel  $0^\circ$ .

Závislost dopadového úhlu stanoveného podle vztahu (16) a (17) na tloušťce pancíře při konstantní dopadové rychlosti je zobrazen na obrátku 12.



Obr. 12 - Závislost dopadového úhlu na tloušťce pancíře

#### 4.1.5 Morfologická matice

Z důvodu povolených výrobních tolerancí a povolených tolerancí omezujících podmínek nastávají při experimentech (balistických zkouškách) různé podmínky, které jsou limitovány horní a dolní hranicí tolerancí. V praxi můžou nastat dvě krajní situace - nejméně náročná a nejnáročnější pro projektování a dimenzování pancéřových detailů korby BVP z hlediska balistické odolnosti, viz morfologická matice tabulka 11. Pro matematické modelování a numerickou simulaci se dají tyto podmínky nadefinovat konkrétními hodnotami.

Tab. 11 - Morfologická matice

Činitele ovlivňující parametry balistické odolnosti	Tolerance		
	Minimální hodnoty tolerance	Střední hodnoty tolerance	Maximální hodnoty tolerance
Tvrдость HB	480	510	540
Výrobní tolerance pro tloušťku 3,0 - 12,9	0,0	0,4	0,8
Výrobní tolerance pro tloušťku 13,0 - 19,9	0,0	0,5	1,0
Dopadová rychlost	834	854	874
Tolerance dopadového úhlu pro kolmý dopad	1,0	0,5	0,0
Tolerance dopadového úhlu pro šikmý dopad	0,0	0,5	1,0

Nejméně náročné podmínky pro projektování a dimenzování pancéřových detailů korby BVP z hlediska balistické odolnosti jsou podbarveny zeleně.

Nejnáročnější podmínky pro projektování a dimenzování pancéřových detailů korby BVP z hlediska balistické odolnosti jsou podbarveny červeně.

#### 4.1.6 Dílčí závěr

Byly analyzovány základní faktory, které mají vliv na projektování korby BVP z hlediska balistické ochrany. Vlivy jsou analyzovány v jednotlivých kapitolách a jejich vzájemná vazba je uvedena v morfologické matici.

Výsledky analýz a rozborů budou využity u matematického modelování, numerické simulace, experimentu, ale i při samotném projektování korby BVP.

## 4.2 Pásma s nižší balistickou odolností

V STANAG 4569 je předepsána hladina pravděpodobnosti ochrany osádky  $\geq 90\%$  v jednotlivých průmětech vozidla. V praxi tento požadavek znamená, že 10 % z celkové plochy vozidla může být s nižší balistickou ochranou. Jsou to plochy, u kterých konstrukčně nebo technologicky nelze zabezpečit balistickou ochranu na úrovni základního materiálu nebo na úkor vysokých finančních nákladů a zvýšení hmotnosti. Mezi základní konstrukčně zeslabené oblasti patří svarové a stykové spoje.

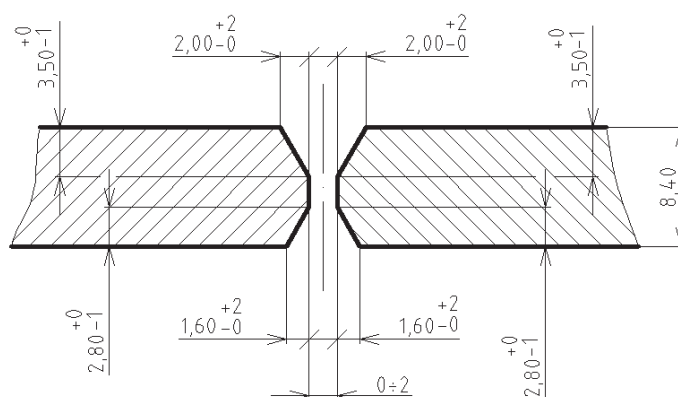
Výroba uzlů konstrukčně zeslabených oblastí a následné ostřelovací zkoušky k stanovení pásma s nižší balistickou ochranou jsou časově a finančně náročné. Stanovení pásma konstrukčně zeslabených oblastí je možné kromě ostřelovacích zkoušek stanovit na základě výsledků matematického modelování, počítačové simulace nebo laboratorních měření. Pro stanovení pásma s nižší balistickou odolností konstrukčně zeslabených oblastí svarových spojů korby byla zvolena metoda laboratorního měření tvrdosti.

### 4.2.1 Svarový spoj z pancéřové oceli ARMOX 500T

#### 4.2.1.1 Charakteristika vzorku

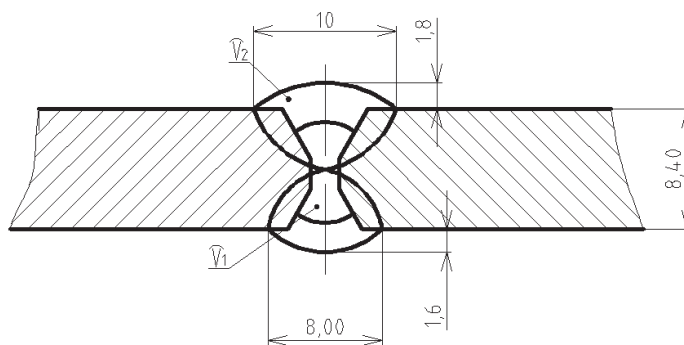
Pro novou korbu se navrhuje použít pancéřovou ocel ARMOX 500T [10]. Pro stanovení pásma s nižší balistickou ochranou u svarových spojů je navržen nesymetrický dvojstranný V svar s nižším a užším zkosením z vnější strany, čímž je sledováno zmenšení objemu austenitického svarového kovu s nízkou tvrdostí z ostřelované strany. Z důvodu, že kromě stropu korby bude použita nejmenší tloušťka pancéřového plechu 8 mm, vzorek byl navržen a vyroben z plechu jmenovité tloušťky 8,0 mm, skutečná tloušťka byla 8,4 mm.

Příprava svarových ploch (úkosy pro svar) je znázorněná na obrázku 13.



Obr. 13 - Příprava svarových ploch pro výrobu vzorku

Svar je nesymetrický dvojstranný V svar s rozměry dle obrázku 14.



Obr. 14 - Konstrukce svarového spoje

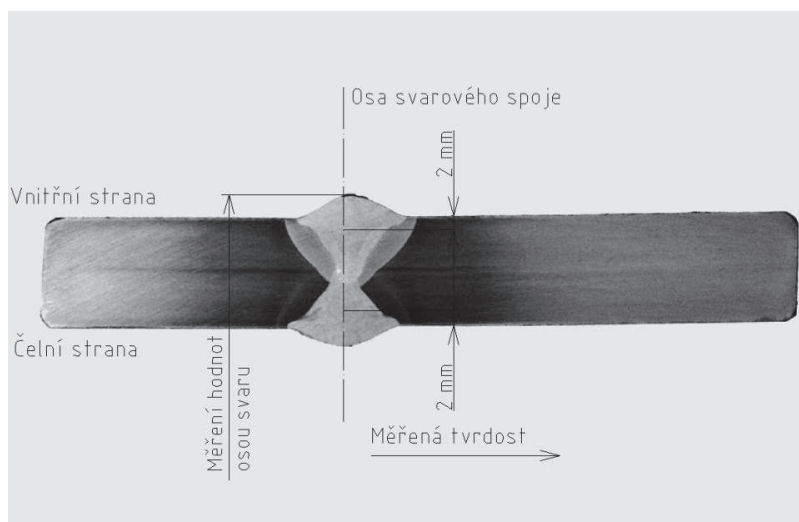
Podmínky provedení svaru:

- svar byl proveden podle ČOS 343901 3. Vydání [13],
- neprovaření svaru v kořeni max. 1 mm,
- V1 - kořen svaru OK Autrod 16.95,
- V2 - krycí housenka OK Autrod 16.95.

#### 4.2.1.2 Vzorek a podmínky měření tvrdosti

Vzorek pro měření tvrdosti byl odebrán tak, že osa řezu procházela kolmo k podélné ose svaru.

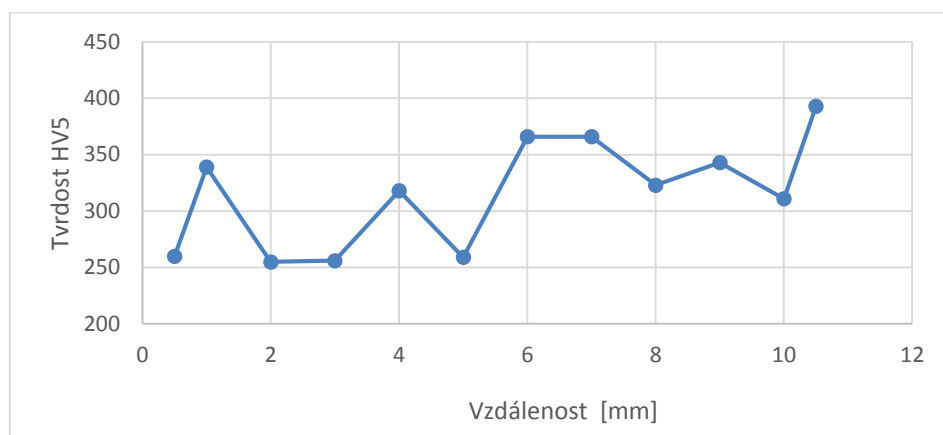
Linie měření tvrdosti (viz. obr. 15) byla volena tak, aby byl zachycen profil tvrdosti v ose svarového kovu (SK), v základním materiálu (ZM) a tepelně ovlivněné oblasti (TOO) pravé strany vzorku a linie měření tvrdosti byla rovnoběžná s povrchem vzorku v neoduhličené vrstvě.



Obr. 15 - Linie měření tvrdosti

#### 4.2.1.3 Výsledky měření

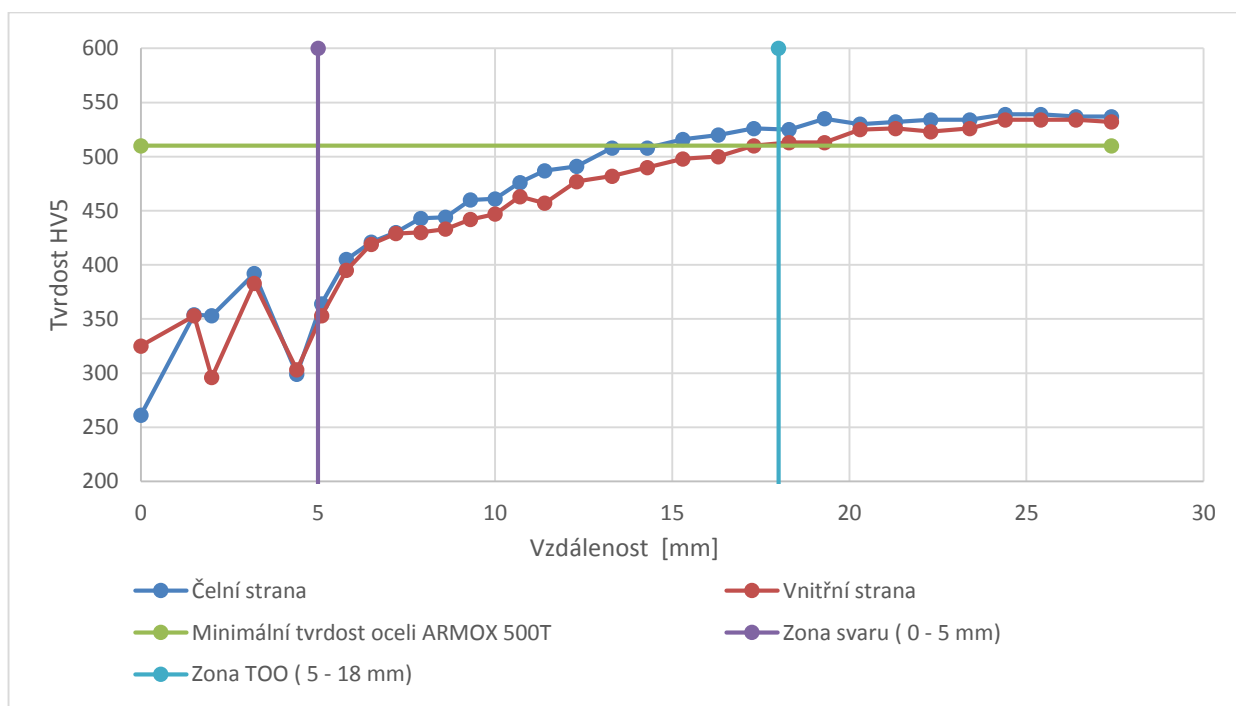
Tvrdost byla měřena podle Vickerse, ČSN 42 0374 [14] na tvrdoměru WOLPERT V-TESTOR při zatížení 49 N. Naměřené hodnoty tvrdosti osou svaru jsou uvedeny v Příloze A, průběh tvrdosti na obrázku 16 a 17.



Obr. 16 - Profil tvrdosti v ose svaru

#### 4.2.1.4 Vyhodnocení měření

Pro pancéřové plechy z oceli ARMOX 500T je pro tloušťku 8 mm předepsaná tvrdost 480 HB až 540 HB. Tomu odpovídá tvrdost HV 510 až 575. Profil tvrdosti na linii měření v ose svaru je zřejmý z obrázku 16, profil tvrdosti na pravé straně vzorku je uveden na obrázku 17.



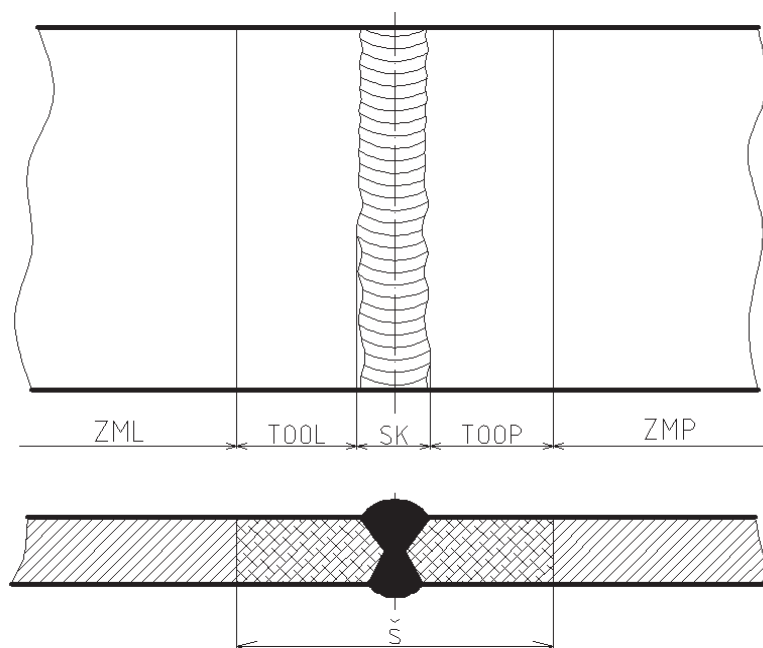
Obr. 17 - Profil tvrdosti vzorku na linii měření a pásmo svarového spoje s nižší balistickou odolností

Z profilu tvrdosti vyplývá:

- základní materiál je zpracován na tvrdost 523 až 539 HV,
- u tepelně ovlivněné oblasti došlo k poklesu tvrdosti v důsledku svařování na hodnotu 353 až 526 HV,
- svarový kov vykazuje tvrdost 261 až 364 HV a je zhruba poloviční oproti tvrdosti pancíře, avšak odpovídá použitému přídatnému materiálu OK Autrod 16.95.

#### 4.2.1.5 Pásmo s nižší balistickou odolností

Z profilu tvrdosti vzorku a výrobcem garantované tvrdosti pancéřové oceli, při které je zabezpečena požadovaná balistická odolnost se stanoví pásmo svarového spoje s nižší balistickou odolností (viz. obr. 18).



Obr. 18 - Pásmo svarového spoje s nižší balistickou odolností

Pásmo s nižší balistickou ochranou se stanoví ze vztahu (8):

$$\text{š} = \text{š}_{SK} + \text{š}_{TOOP} + \text{š}_{TOOL} \text{ [mm]} \quad (8)$$

Vnitřní strana:

$$\text{š} = 10 + 13 + 13 = 36 \text{ mm}$$

Vnější strana:

$$\text{š} = 8 + 13 + 13 = 34 \text{ mm}$$

š – šířka pásma s nižší balistickou odolností [mm]

š<sub>SK</sub> – šířka svařovaného kovu [mm]

š<sub>TOOP</sub> – tepelně ovlivněná oblast pravé strany svaru [mm]

š<sub>TOOL</sub> – tepelně ovlivněná oblast levé strany svaru [mm]

Šířka pásma s nižší balistickou odolností je 36,0 a 34,0 mm.

#### 4.2.2 Svarový spoj z pancéřové oceli 2P

Pro stanovení pásma s nižší balistickou odolností pancéřové oceli 2P byly využity výsledky posouzení kvality svarových spojů provedených VÚ 070 Brno v roce 1993 [15]. Jedná se o vzorek vyrobený z pancéřové oceli 2P jmenovité tloušťky 16,0 mm. Pásmo s nižší balistickou odolností bylo stanoveno stejným postupem jako pro pancéřovou ocel ARMOX 500T a je uvedeno v Příloze B. [26]

### 4.2.3 Koeficient výpočtu šířky TOO

Koeficient výpočtu šířky TOO svarového spoje pro střelu ráže 7,62 mm se stanoví ze vztahu (9):

$$k_{TOO} = \frac{\dot{s}_{TOO}}{R_{st}} [-] \quad (9)$$

$$k_{TOO} = \frac{13}{7.62} = 1,71$$

$k_{TOO}$  - koeficient výpočtu šířky TOO

$\dot{s}_{TOO}$  - maximální šířka TOO stanovená z profilu tvrdosti [mm]

$R_{st}$  - ráže střely [mm]

Koeficienty šířky TOO svarového spoje z naměřených hodnot tvrdosti u vzorku ARMOX 500T a u vzorku z oceli 2P jsou uvedeny v tabulce 12.

Tab. 12 - Koeficienty šířky TOO svarového spoje

Typ oceli	Tloušťka [mm]	Místo měření	Šířka TOO [mm]	Koeficient $k_{TOO}$
ARMOX 500T	8,4	Vnější strana	13	1,71
	8,4	Vnitřní strana	13	1,71
2P	16,0	Levá strana	8	1,05
	16,0	Pravá strana	8	1,05

Koeficient  $k_{TOO}$  svarového spoje je max 1,71. Pro výpočet pravděpodobnosti ochrany osádky  $\geq 90 \%$  v jednotlivých průmětech korby BVP bude použit pro V svar koeficient 1,8. Pro koutový svar a okraj vzorku bude použit koeficient 1.

Pro výpočet plochy konstrukčně zeslabené oblasti bude pro V svar použit vztah (10):

$$S = (\dot{s} + 2 \cdot k_{TOO} \cdot R_{st}) \cdot l \text{ [mm]} \quad (10)$$

Pro výpočet plochy konstrukčně zeslabené oblasti koutového svaru bude použit vztah (11):

$$S = (\dot{s} + k_{TOO} \cdot R_{st}) \cdot l \text{ [mm]} \quad (11)$$

$S$  – plocha konstrukčně zeslabené oblasti svarového spoje [mm<sup>2</sup>]

$\dot{s}$  – maximální šířka svarového spoje [mm]

$l$  - délka svarového spoje [mm]

### 4.2.4 Dílčí závěr

Pro stanovení pásma s nižší balistickou ochranou u svarových spojů korby byl pro pancéřovou ocel ARMOX 500T navržen, vyroben a laboratorním zkouškám podroben vzorek svarového spoje. Pro pancéřovou ocel 2P byly využity výsledky posouzení kvality svarových spojů provedených VÚ 070 Brno v roce 1993. Na základě naměřených hodnot tvrdosti ve svarovém kovu, tepelně ovlivněné oblasti a základním materiálu, bylo stanoveno pásmo s nižší balistickou ochranou u svarových spojů a odvozeny vztahy, které budou použity pro výpočet pravděpodobnosti ochrany osádky  $\geq 90 \%$  v jednotlivých průmětech korby BVP v souladu se STANAG 4569.

### 4.3 Dimenzování balistické ochrany

V odborné literatuře jsou publikovány pouze dílčí informace o průbojnosti střel nábojů ráže 7,62 mm nebo balistické odolnosti pancéřových materiálů proti průbojným střelám. Pro způsob dimenzování jednotlivých plechů korby BVP z pancéřové oceli ARMOX 500T nebo SECURE 500 byl navržen následující postup:

- analyzovat dostupné matematické vztahy pro výpočet balistické odolnosti pancéřových plechů a provést výpočty tloušťky dvou plechů korby BVP,
- numerickou simulací ověřit návrh tloušťky plechu bočnice korby BVP,
- experimentem potvrdit výsledky matematických výpočtů a numerické simulace.

V případě shody výpočtu s numerickou simulací a experimentem provést dle doporučeného empirického vztahu výpočet tloušťek jednotlivých plechů korby BVP.

#### 4.3.1 Pancéřový materiál

Na základě závěrů „Teoretického rozboru a analýzy fyzikálně mechanických a balistických vlastností kovových materiálů pro řešení korby bojového vozidla pěchoty“ [8] byla pro výrobu korby BVP doporučena pancéřová ocel ARMOX 500T.

Chemické složení pancéřové oceli ARMOX 500T a jeho mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 7 až 10.

#### 4.3.2 Prostředek ohrožení

V STANAG 4569 [6] je definován prostředek ohrožení pro hladinu 3 municí 7,62 mm x 54R AP-I B32.

Náboj 7,62 mm x 54R se střelou AP-I B32 je zobrazen na obrázku 19, základní konstrukční a balistické parametry střely a náboje jsou uvedeny v tabulce 13.



Obr. 19 - Náboj 7,62 mm x 54R se střelou AP-I B32

1 – kalené ocelové jádro, 2 – olověná košilka, 3 - plášť z oceli plátovaný tombakem,  
4 – střela AP-I B32, 5 - náboj 7,62 mm x 54R se střelou AP-I B32



Tab. 13 - Konstrukční a balistické parametry střely a náboje

Údaj	Jednotka	Výkres	Náboj použitý v experimentu
Rychlost $V_{25}$	$[m \cdot s^{-1}]$	840 -855	$822 \pm 6$
Hmotnost náboje	[g]	-	22,71 až 22,84
Střela: hmotnost	[g]	9,65 až 10,55	10,4
průměr	[mm]	7,92	7,9
délka	[mm]	37,15	37,9
Jádro: hmotnost	[g]	5,25 až 5,47	5,37 až 5,44
průměr	[mm]	6,14	6,13 až 6,14
délka	[mm]	30,25	28,0 až 29,5

### 4.3.3 Matematické modely

Matematické modelování interakce střely a pancíře je založeno na schopnosti protipancéřové střely prorazit pancíř určité tloušťky nebo na schopnosti pancíře zachytit protipancéřovou střelu [16]. Pro stanovení této schopnosti je do značné míry rozhodující dopadová kinetická energie střely ( $E_d$ ), kterou lze stanovit ze vztahu (12):

$$E_d = \frac{1}{2} \cdot m_q \cdot v_{DOP}^2 [J] \quad (12)$$

$$E_d = \frac{1}{2} \cdot 10,4 \cdot 10^{-3} \cdot 874^2 = 3\,972,2\,J$$

$m_q$  – hmotnost střely [kg]

Dopadová kinetická energie střely v rámci experimentu byla v rozmezí 3868,0 až 4027,3 J.

Při určování balistické odolnosti pancíře je rozhodující pojem limitní dopadová rychlost střely  $v_{lim}$ , která je definována jako rychlost střely při které nedojde k probití pancíře za definovaných podmínek. Celá dopadová kinetická energie střely  $E_d$  se spotřebuje pouze na poškození a deformaci pancíře.

Pro stanovení balistické odolnosti pancíře pomocí limitní dopadové rychlosti střely lze použít matematický vztah autora de-Marra [16], který je určen pro výpočet limitní dopadové rychlosti malorážové protipancéřové střely nutné k probití homogenní ocelové pancéřové desky předem definované tloušťky a vlastností. Pro výpočet tloušťky pancéřové desky splňující požadavek na balistickou odolnost byly vztahy upraveny pomocí konstanty odolnosti  $K_1$  a  $K_2$ . Koeficienty  $K_1$  a  $K_2$  byly stanoveny pro konkrétní střeleckou sestavu a pancéřovou ocel 2P. Dále byly pro stanovení balistické odolnosti pancíře použity matematické vztahy autora p-Nováka [5], které jsou určeny pro výpočet tloušťky pancíře pro předem definovanou střelu (AP-I B32), dopadovou rychlost střely, dopadový úhel a pancéřovou ocel 2P. Pro pancéřovou ocel ARMOX 500T byly matematické vztahy upraveny pomocí opravného koeficientu  $k_3$ .

#### 4.3.3.1 Empirický vztah de-Marra

Limitní rychlost střely pro kolmý dopad na pancíř se stanoví ze vztahu (13):

$$v_{lim} = K_1 \cdot \frac{d^{0,75} \cdot t^{0,7}}{m^{0,5}} [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (13)$$

Z této rovnice byl vyjádřen vztah pro výpočet tloušťky pancíře:

$$t = \sqrt[0,7]{\frac{v_{lim} \cdot m^{0,5}}{K_1 \cdot d^{0,75}}} [\text{dm}]$$

Výpočet tloušťky plechu bočnice korby BVP:

$$t = \sqrt[0,7]{\frac{874 \cdot (5,4 \cdot 10^{-3})^{0,5}}{1730 \cdot (6,14 \cdot 10^{-2})^{0,75}}} = 0,1799 \text{ dm}$$

Limitní rychlost střely pro šikmý dopad na pancíř se stanoví ze vztahu (14):

$$v_{lim} = K_2 \cdot \frac{d^{0,75} \cdot t^{0,7}}{m^{0,5} \cdot n \cdot \cos \alpha} [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (14)$$

Z této rovnice byl vyjádřen vztah pro výpočet tloušťky pancíře:

$$t = \sqrt[0,7]{\frac{v_{lim} \cdot m^{0,5} \cdot n \cdot \cos \alpha}{K_2 \cdot d^{0,75}}} [\text{dm}]$$

Výpočet tloušťky plechu korby BVP s konstrukčním úhlem 36°:

$$t = \sqrt[0,7]{\frac{874 \cdot (5,4 \cdot 10^{-3})^{0,5} \cdot 1,5 \cdot \cos 36}{3560 \cdot (6,14 \cdot 10^{-2})^{0,75}}} = 0,0846 \text{ dm}$$

d – průměr střely [dm]

K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub> - konstanta odolnosti [-]

m - hmotnost střely [kg]

n - opravný koeficient [-]

Tloušťka plechu bočnice korby BVP je 17,99 mm a tloušťka plechu s konstrukčním úhlem 36° je 8,46 mm.

#### 4.3.3.2 Empirický vztah p-Nováka

Limitní rychlost střely pro kolmý dopad na pancíř se stanoví ze vztahu (15):

$$t_{max} = (k_1 \cdot \ln V_{dop} - k_2) \cdot k_3 [\text{mm}] \quad (15)$$

Výpočet tloušťky plechu bočnice korby BVP:

$$t_{max} = (10,257 \cdot \ln 874 - 52,121) \cdot 1,07 = 18,57 \text{ mm}$$

Limitní rychlost střely pro šikmý dopad na plech se stanoví ze vztahu (16) a (17):

$$n = 3,4927915 \cdot \left(\frac{t}{t_{\max}}\right)^4 - 7,10744045 \cdot \left(\frac{t}{t_{\max}}\right)^3 + 6,9767877 \cdot \left(\frac{t}{t_{\max}}\right)^2 - 3,3621387 \cdot \left(\frac{t}{t_{\max}}\right) + 1[-] \quad (16)$$

$$\cos\alpha = 1 - \left(\frac{t_{\max}-t}{t_{\max}}\right)^{1/n}[-] \quad (17)$$

Výpočet konstrukčního úhlu plechu korby BVP pro tloušťku pancíře 8,7 mm:

$$n = 3,4927915 \cdot \left(\frac{8,7}{18,57}\right)^4 - 7,10744045 \cdot \left(\frac{8,7}{18,57}\right)^3 + 6,9767877 \cdot \left(\frac{8,7}{18,57}\right)^2 - 3,3621387 \cdot \left(\frac{8,7}{18,57}\right) + 1 = 0,3935$$

$$\cos\alpha = 1 - \left(\frac{(18,57 - 8,7)}{18,57}\right)^{1/0,3935} = 0,7994$$

$$\alpha = \arccos 0,70752 = 36,9^\circ$$

$k_1, k_2$  - konstanta odolnosti [-]

$k_3$  – opravný koeficient [-]

$t_{\max}$  – maximální tloušťka pancíře [mm]

$m$  - hmotnost střely [kg]

$n$  – koeficient [-]

Tloušťka plechu bočnice korby BVP je 18,57 mm a konstrukční úhel detailu korby BVP pro tloušťku pancíře 8,7 mm je 36,9°.

#### 4.3.4 Numerická simulace

Pro numerickou simulaci dynamické úlohy interakce střely a pancéřové desky byl použit program LS-DYNA a model Johnson-Cook. Uspořádání geometrického modelu celoplošné průbojné střely (dále jen projektil) a probíjené pancéřové desky je zobrazeno na obrázku 21, který je uspořádán jako 3D model.

##### 4.3.4.1 Výchozí a okrajové podmínky

Střele AP-I B32 (ocelovému jádru i olověné košilce) je zadána dopadová rychlost 874,0 m·s<sup>-1</sup> a dopadovým úhlem 0°.

Ocelové kalené jádro střely AP-I B32 je materiál charakterizovaný vysokou pevností a tvrdostí, tvarovou a hmotnostní stabilitou.

Olověná košilka střely AP-I B32 je materiál charakterizovaný značnou tvarovou a hmotnostní nestabilitou.

Z důvodů zjednodušení návrhu geometrického modelu těla střely byly pro numerickou simulaci rozměry a mechanické vlastnosti pláště střely zahrnuty do olověné košilky.

Ocelová deska ARMOX 500T je jmenovité (skutečné) tloušťky 18,0 mm.

Při nárazu a vniku střely do pancíře převládá namáhání desky tlakem a smykem.

Mez pevnosti oceli ARMOX 500T je v rozmezí 1450 až 1750 MPa. Pro numerickou simulaci byla použita hodnota 1450 MPa.

Materiálové parametry použité v numerické simulaci byly stanoveny pro teplotu 20 °C. Po nárazu střely na pancíř a průniku jádra do pancíře se předpokládá, že dojde k porušení kontinuity střely - oddělení olověné košilky od ocelového jádra průbojné střely.

#### 4.3.4.2 Výsledky numerické simulace

Výsledky numerické simulaci interakce střely a pancéřového plechu jsou popsány v následujících fázích:

Fáze 1. Střela před nárazem na pancíř - počáteční stav, čas  $T = 0$  ms.

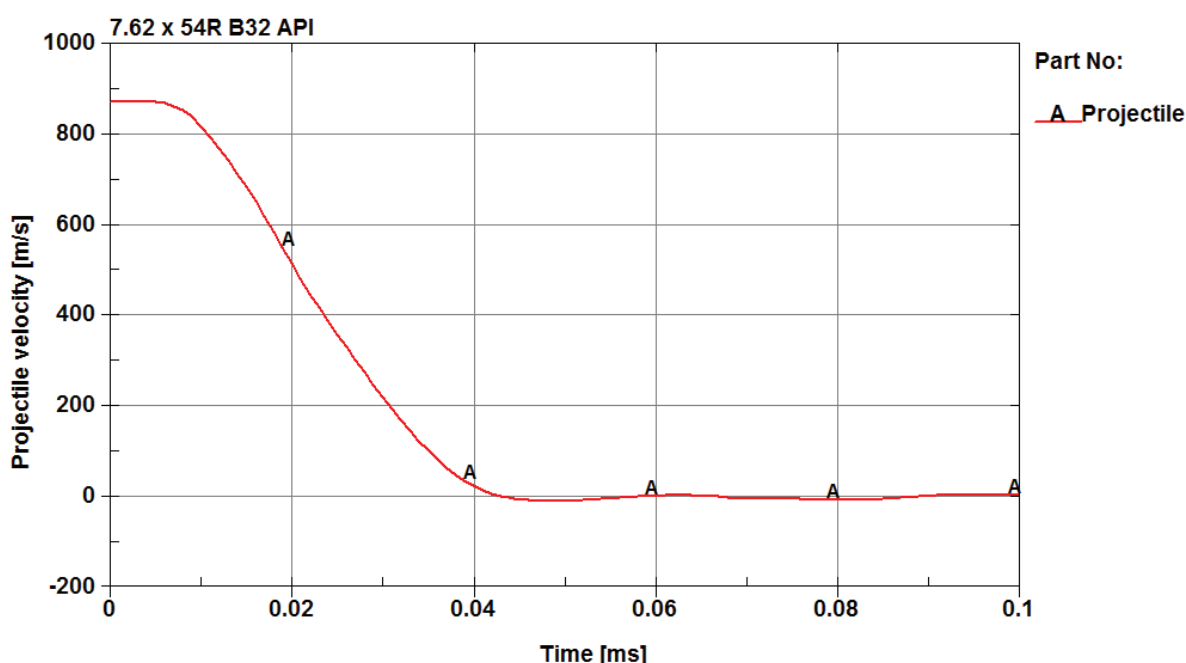
Fáze 2. Stav v čase  $T = 0,01$  ms.

Fáze 3. Stav v čase  $T = 0,02$  ms.

Fáze 4. Stav v čase  $T = 0,03$  ms.

Fáze 5. Stav v čase  $T = 0,1$  ms.

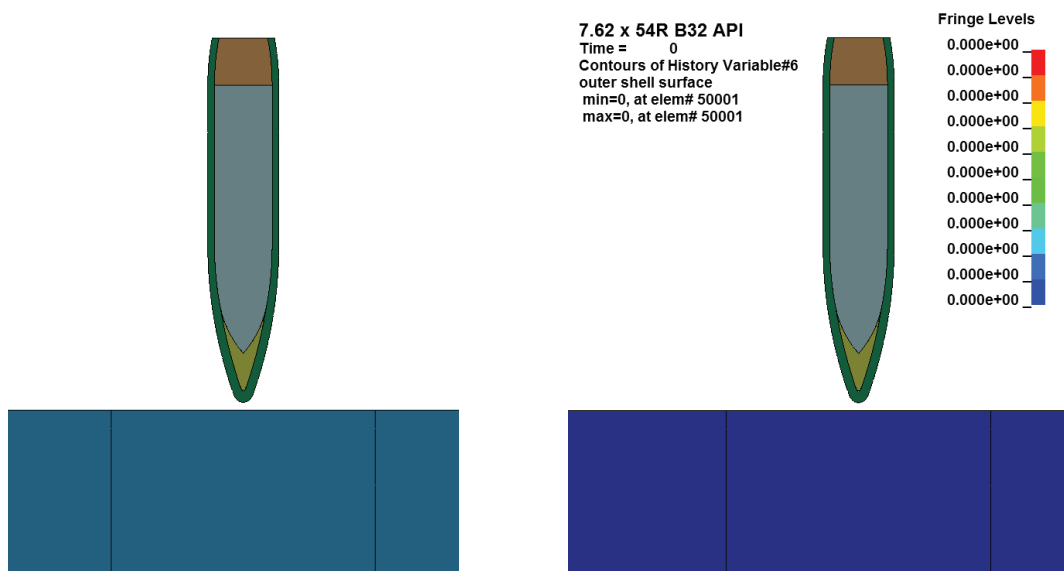
Průběh rychlosti střely v intervalu před dopadem na pancíř do okamžiku jejího zastavení je zobrazen na obrázku 20. Z průběhu vyplývá, že projektil se v pancíři zastavil za 0,042 ms.



Obr. 20 - Průběh rychlosti střely  
( Projectile velocity – rychlost projektilu, Time - čas)

#### Fáze 1. Střela před nárazem na pancíř - počáteční stav, čas $T = 0$ ms.

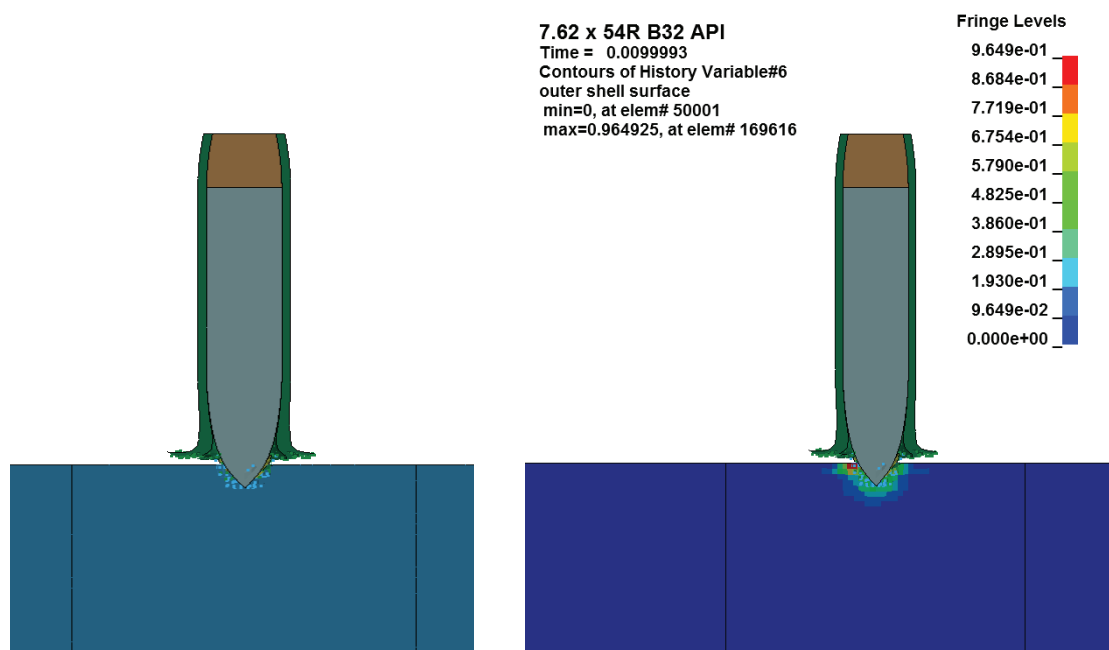
Fáze 1. – (viz. obr. 21) - popisuje stav numerické simulace v okamžiku dopadu střely AP-I B-32 (projektilu) na pancíř z oceli ARMOX 500T jmenovité tloušťky 18,0 mm při dopadové rychlosti střely  $874 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Dopadový úhel střely na pancíř je  $0^\circ$ . Podélná osa střely je kolmá na rovinu čela pancéřového plechu. Materiál střely i vzorku je neporušen.



Obr. 21 - Geometrický model simulace a stav numerické simulace v čase  $T = 0$  ms  
(Time - čas, Contours of History variable - Obrisy z historie proměnných,  
Outer shell surface - Vnější plášť povrchu, Fringe levels – Okrajové podmínky)

## Fáze 2. Stav v čase $T = 0,01$ ms.

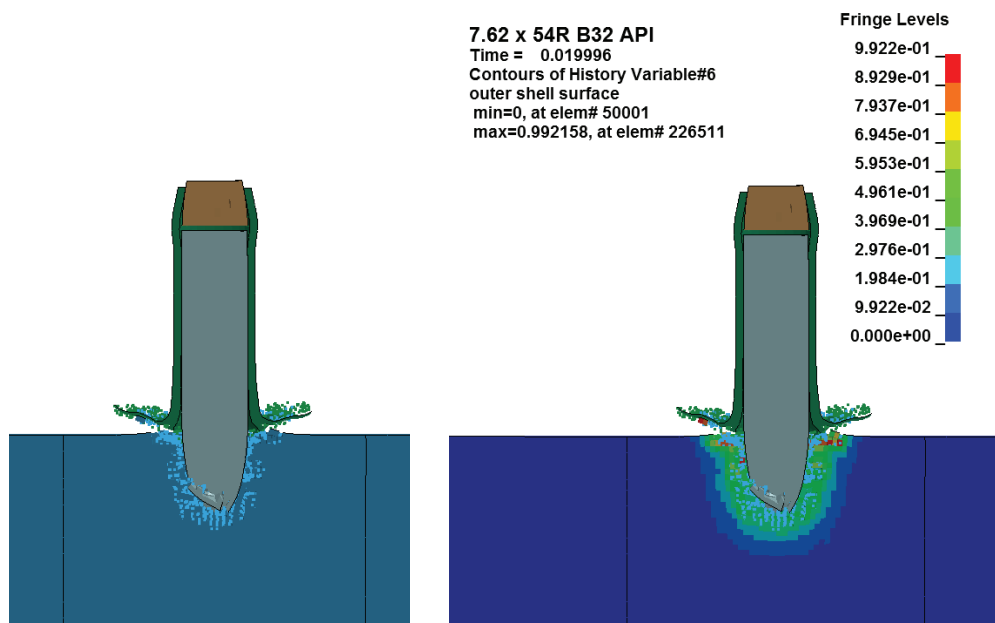
Fáze 2. – (viz. obr. 22) - popisuje stav numerické simulace v čase  $T = 0,01$  ms od okamžiku dopadu střely na pancíř. Rychlost projektilu byla  $820 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Došlo k oddělení olověné košilky od jádra střely, jádro střely proniklo do pancéřového plechu - došlo k částečnému nebo plnému porušení materiálu - hloubka průniku je 2,5 mm. Nedošlo k destrukci jádra střely ani k vychýlení střely od její podélné osy.



Obr. 22 - Stav numerické simulace v čase  $T = 0,01$  ms

### Fáze 3. Stav v čase T - 0,02 ms.

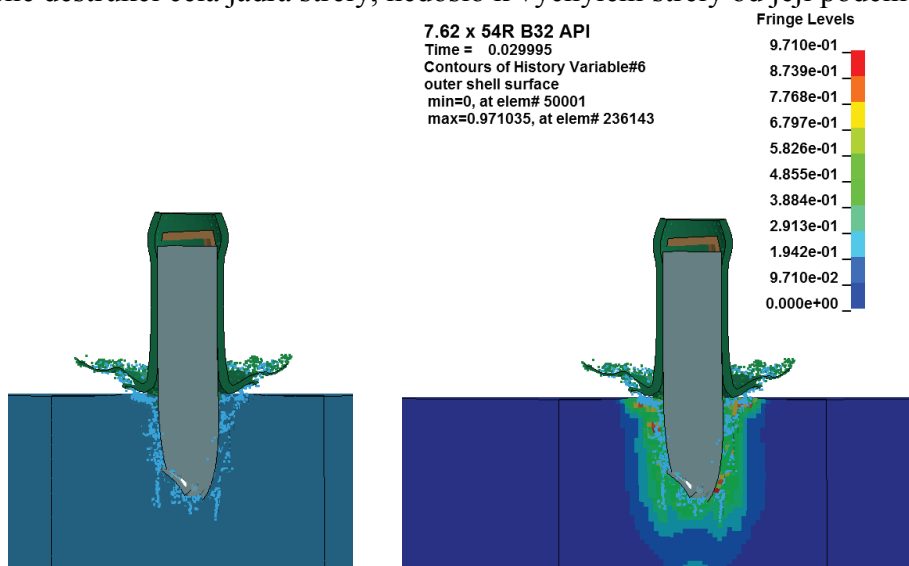
Fáze 3. – (viz. obr. 23) - popisuje stav numerické simulace v čase T - 0,02 ms od okamžiku dopadu střely na pancíř. Rychlost projektilu byla  $495 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Dál docházelo k oddělování olověné košilky od jádra střely, jádro střely proniklo dál do pancéřového plechu - došlo k částečnému nebo plnému porušení materiálu - hloubka průniku je 7,07 mm. Došlo k částečné destrukci čela jádra střely v důsledku mechanického odporu pancíře, nedošlo k vychýlení střely od její podélné osy.



Obr. 23 - Stav numerické simulace v čase T - 0,02 ms

### Fáze 4. Stav v čase T - 0,03 ms.

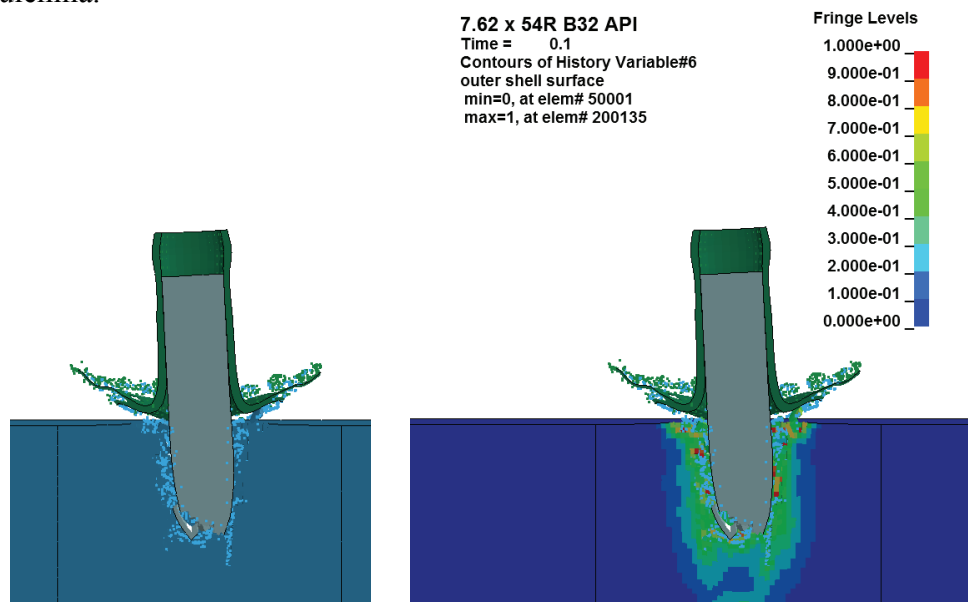
Fáze 4. – (viz. obr. 24) - popisuje stav numerické simulace v čase T - 0,03 ms od okamžiku dopadu střely na pancíř. Rychlost projektilu byla  $216 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Dál docházelo k oddělování olověné košilky od jádra střely, jádro střely proniklo dál do pancéřového plechu - došlo k částečnému nebo plnému porušení materiálu - hloubka průniku je 11,2 mm. Dál docházelo k částečné destrukci čela jádra střely, nedošlo k vychýlení střely od její podélné osy.



Obr. 24 - Stav numerické simulace v čase T - 0,03 ms

### Fáze 5. Stav v čase T - 0,1 ms.

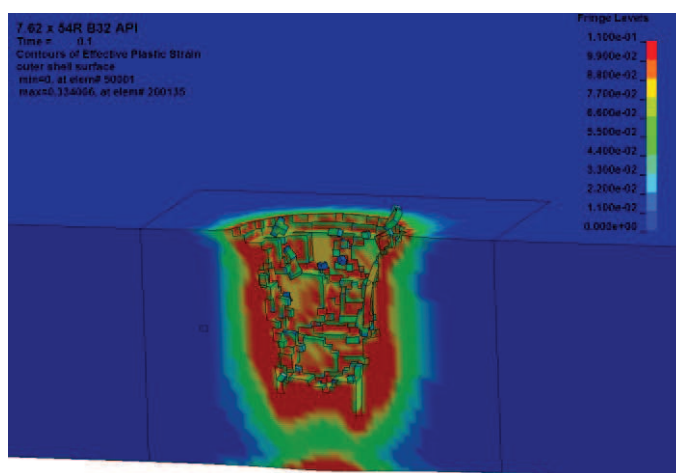
Fáze 5. – (viz. obr. 25) - popisuje stav numerické simulace v čase T - 0,1 ms od okamžiku dopadu střely na pancíř. Dál docházelo k oddělování olověné košilky od jádra střely, jádro střely proniklo dál do pancéřového plechu - hloubka průniku je 12,0 mm. Dál docházelo k částečné destrukci čela jádra střely a došlo k vychýlení střely od její podélné osy. Z důvodu nulové rychlosti jádra střely se průnik jádra střely do pancíře zastavil v čase 0,042 ms. Střela uvízla v pancíři. Na zadní straně vzorku v místě prodloužené podélné osy střely vznikla mírná vyboulenina.



Obr. 25 - Stav numerické simulace v čase T - 0,1ms

### Plastické přetvoření (deformace) pancíře v důsledku částečného průniku střely.

Poškození pancíře v důsledku částečného průniku střely v rámci numerické simulace odpovídá výsledkům střeleckých zkoušek. Jedná se o vryp ze strany nástřelu a náznak vybouleniny na vnitřní straně vzorku. Plastické přetvoření pancíře v čase T - 0,1 ms od okamžiku dopadu střely na pancíř v okolí vrypu je znázorněno na obrázku 26.



Obr. 26 - Plastické přetvoření (deformace) materiálu v okolí vrypu  
(contours of Effective Plastic Strain – Obrýsy efektivní plastické deformace)

### 4.3.5 Balistický experiment

Cílem experimentu bylo stanovit střeleckou odolnost pancéřových plechů ARMOX 500T proti prostředku ohrožení podle hladiny 3 STANAG 4569 – náboji 7,62 mm x 54R se střelou AP-I B32 při dopadové rychlosti  $854 \pm 20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

#### 4.3.5.1 Předmět, podmínky a materiálně technické zabezpečení experimentu

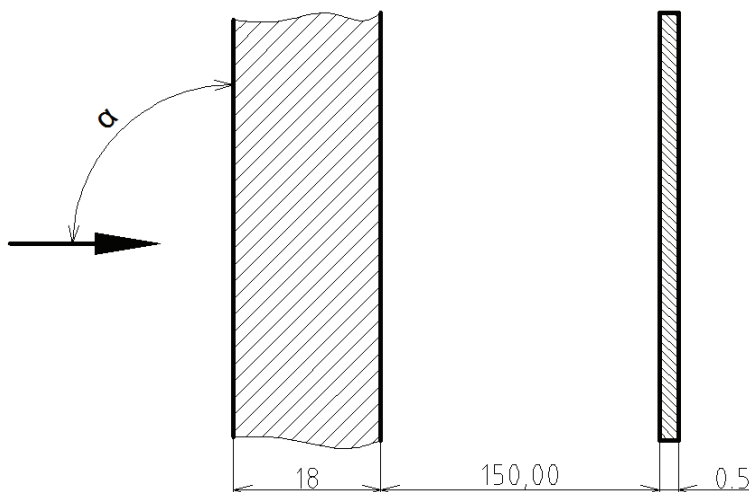
Tři vzorky z oceli ARMOX 500T rozměru 500 x 500 mm tloušťky 18,9 mm, 17,9 mm a 8,6 mm.

Zkouška byla provedena na střelnici Vojenského technického ústavu, s.p., odštěpný závod VTÚVM (akreditovaná zkušební laboratoř číslo 1128). Vzdálenost střelby byla 10 m. Rychlost byla měřena ve vzdálenosti 7,5 m od ústí hlavně. Teplota vzduchu v průběhu zkoušky byla  $21^\circ\text{C}$ , relativní vlhkost byla 41 %.

Zkouška byla zabezpečena v souladu se STANAG 4569, AEP-55 díl 1 a AEP-55 díl 2 (1. vydání).

#### 4.3.5.2 Výsledky experimentu

Vzorek tloušťky 17,9 a 18,9 mm - střelecká odolnost plechu bočnice korby BVP



Obr. 27 - Příčný řez střeleckou sestavou

Tab. 14 - Výsledky u vzorku tloušťky 17,9 mm

Pancéřový plech ARMOX 500T, tloušťka 17,9 mm, úhel $\alpha = 0^\circ$				
Číslo nástřelu	Dopadová rychlost $[\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$	Poškození pancíře	Poškození kontrolní desky	Hodnocení nástřelu
1	869,6	Pr	1	N
2	865,2	Pr, část jádra v nástřelu	1	N
<b>Vyhodnocení:</b> pancéřový plech ARMOX 500T tloušťky 17,9 mm nezabezpečuje střeleckou odolnost proti prostředku ohrožení podle hladiny 3 STANAG 4569 – náboj 7,62 mm x 54R se střelou AP-I B32 při průměrné dopadové rychlosti $867,4 \pm 2,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .				

Význam zkratk: Pr - průraz, 1 - kontrolní deska s průrazem (průnik světla), N - zásah hodnocen jako nevyhovující.



Tab. 15 - Výsledky u vzorku tloušťky 18,9 mm

Pancéřový plech ARMOX 500T, tloušťka 18,9 mm, úhel $\alpha = 0^\circ$				
Číslo nástřelu	Dopadová rychlost [m·s <sup>-1</sup> ]	Poškození pancíře Čelní strana / zadní strana	Poškození kontrolní desky	Hodnocení nástřelu
1	868,0	Vr - část jádra střely v nástřelu. Hloubka vrypu 14,3 mm / Vb - o výšce 0,24 mm	0	V
2 až 7	Výsledky zkoušky jsou uvedeny v Příloze C			
8	871,1	Vr - část jádra střely v nástřelu / Vb	0	V
<b>Vyhodnocení:</b> pancéřový plech ARMOX 500T tloušťky 18,9 mm zabezpečuje střeleckou odolnost proti prostředku ohrožení podle hladiny 3 STANAG 4569 - náboj 7,62 mm x 54R se střelou AP-I B32 při průměrné dopadové rychlosti 871,7 + 3,4 m·s <sup>-1</sup> .				

Význam zkratk: Vr - vryp, Vb - vyboulenina, 0 - kontrolní deska bez poškození, V - zásah hodnocen jako vyhovující.



Obr. 28 - Čelní strana vzorku - nástřely 1 až 3 viz tabulka 15



Obr. 29 - Zadní strana vzorku - nástřely 1 až 3 viz tabulka 15

Vzorek č. 3 - pro stanovení dopadového úhlu pancéřového detailu.

Tab. 16 - Výsledky u vzorku tloušťky 8,6 mm

Pancéřový plech ARMOX 500T, tloušťka 8,6 mm, dopadová rychlost $854 + 20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$					
Číslo ná střelu	Dopadová rychlost [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]	Dopadový úhel [°]	Poškození pancíře Čelní strana/zadní strana	Poškození kontrolní desky	Hodnocení ná střelu
1	876,5	27	Pr	1	NZ
2 až 14	Výsledky zkoušky jsou uvedeny v Příloze D				
15	871,1	36	Vr - část jádra střely v ná střelu / bez poškození	0	V
<b>Vyhodnocení:</b> pancéřový plech ARMOX 500T tloušťky 8,6 mm zabezpečuje střeleckou odolnost proti prostředku ohrožení podle hladiny 3 STANAG 4569 - náboj 7,62 mm x 54R se střelou AP-I B32 při dopadovém uhlu $36^\circ$ .					

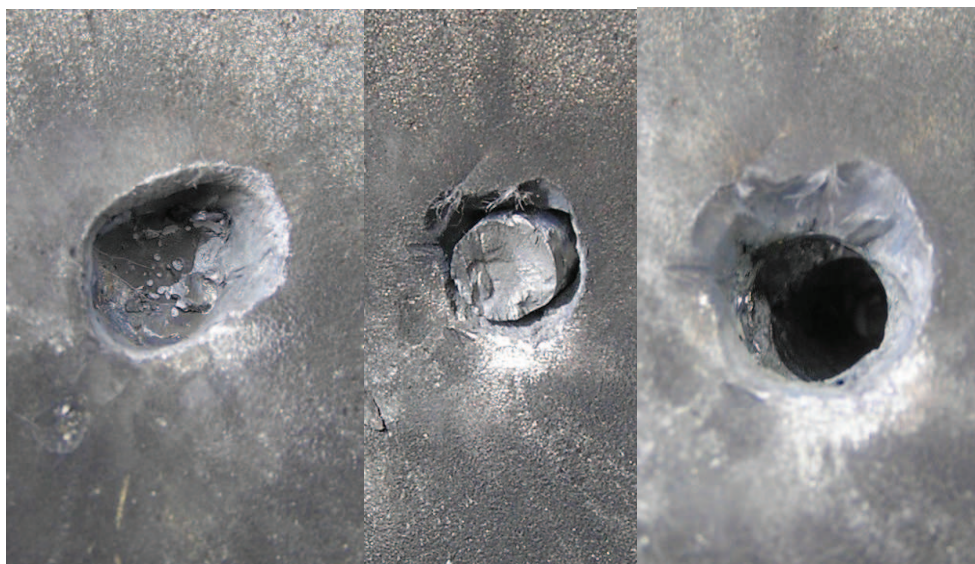
Význam zkratk: NZ - nezapočítatelný zásah.

#### 4.3.5.3 Porovnání výsledků výpočtů, numerické simulace a experimentu

Přehledné porovnání výsledků výpočtů, numerické simulace a praktického výsledku experimentu pro tloušťku plechu bočnice korby BVP (vzorek č. 2) je uvedeno v tabulce 17, pro tloušťku plechu korby BVP s konstrukčním úhlem  $36^\circ$  (vzorek č. 3) je v tabulce 18.

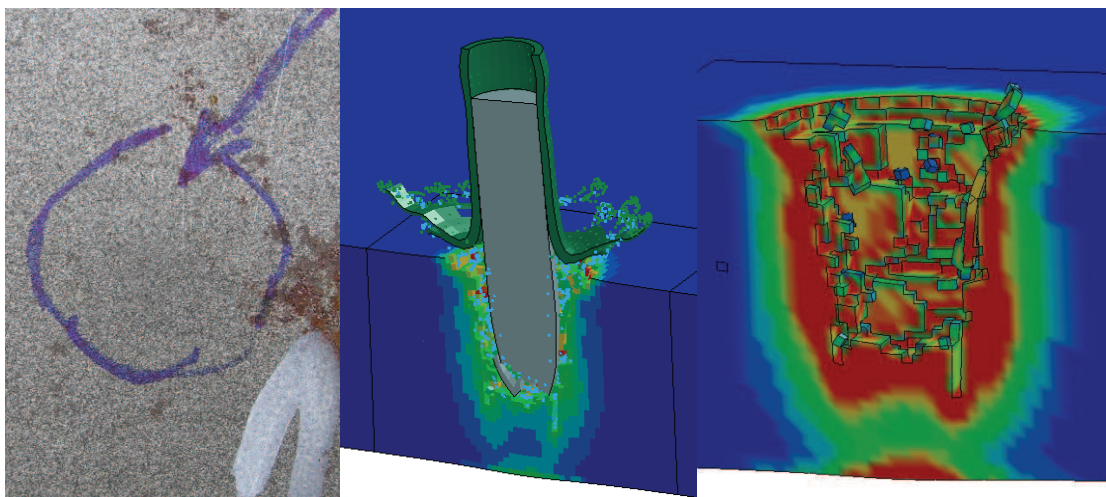
Tab. 17 - Porovnání výsledků výpočtů, numerické simulace a experimentu

Empirické vztahy	Numerická simulace	Experiment
de-Mora - 17,99 mm p-Nováka - 18,56 mm	LS-DYNA 18,0 mm	Střelecká zkouška - 18,9 mm



Obr. 30 - Charakter poškození pancíře střeleckou zkouškou – čelní strana (vryp - hloubka vrypu 8,2 mm, jádro v ná střelu, vryp - hloubka vrypu 14,3 mm)





Obr. 31 - Charakter poškození pancíře:  
střeleckou zkouškou – zadní strana (vyboulenina o výšce 0,24 mm) a numerickou  
simulací (jádro v nástřelu, vryp – hloubka vrypu 12 mm, vyboulenina)

Charakter poškození pancíře u numerické simulace (jádro v nástřelu, vryp – hloubka vrypu 12 mm a vyboulenina) odpovídá charakteru poškození nástřelu č. 1 u vzorku č. 2 (jádro v nástřelu, vryp - hloubka vrypu 14,3 mm, vyboulenina o výšce 0,24 mm). U experimentu došlo k odražení jádra střely od pancíře, nebo k jeho rozlomení v rámci jeho průniku. V případě rozlomení jádra střely, část jádra zůstala v nástřelu, druhá část se odrazila. Z popisu poškození pancíře a uvedené obrazové části (viz. obr. 30 a 31) vyplývá, že je shoda mezi numerickou simulací a praktickými výsledky experimentu.

Tab. 18 - Porovnání výsledků výpočtů a experimentu

Empirické vztahy	Experiment
de-Mora –8,46 mm/36° p-Nováka - 8,7 mm/36,9°	Střelecká zkouška - 8,6 mm/36°

Porovnáním výsledků výpočtů a střeleckých zkoušek bylo dosaženo lepší shody podle empirických vztahů p-Nováka jak u tloušťky plechu bočnice korby BVP, tak i pro plech s konstrukčním úhlem 36°.

#### 4.3.6 Dílčí závěr

Pro návrh způsobu postupu dimenzování jednotlivých dílů korby BVP z pancéřové oceli ARMOX 500T byly provedeny:

- analýzy dostupných matematických vztahů pro výpočet balistické odolnosti pancéřových plechů a provedeny výpočty tloušťky plechu bočnice korby BVP a stanovena tloušťka plechu pro konstrukční úhel 36°,
- numerická simulace interakce střely a pancéřového plechu bočnice korby BVP,
- experimenty k potvrzení matematických výpočtů a numerické simulace.

Byla dosažena shoda výpočtů s numerickou simulací a experimentem (ostřelovacími zkouškami). Pro dimenzování jednotlivých dílů korby BVP z pancéřové oceli ARMOX 500T budou použity empirické vztahy p-Nováka s opravným koeficientem  $k_3$ .

## 5. Konstrukční návrh korby

Korba představuje jeden z nejnáročnějších prvků bojového vozidla pěchoty. Při jejím návrhu je nutné brát zřetel na velkou řadu aspektů, jako je vnitřní prostor, pevnost, tuhost, balistická odolnost, ergonomičnost, hmotnost atd. Pro splnění požadavků na balistickou ochranu se navrhuje řešit korbu vozidla jako svařenec z ocelových plechů z pancéřové oceli ARMOX 500T nebo SECURE.

Z hlediska konstrukčního řešení je korba rozdělena do pěti částí:

- čelní část (plechy čelního průřezu),
- boční část (plechy bočního průřezu),
- zadní část (plechy zadního průřezu),
- strop (plechy půdorysu),
- dno.

Pro nastupování a vystupování osádky a členů roje jsou v korbě vytvořeny otvory pro příklopy a rampu. Dále jsou v korbě vytvořeny otvory pro montáž zbraňové stanice, pozorovacích a zaměřovacích přístrojů a otvory pro montážní, údržbové a servisní práce.

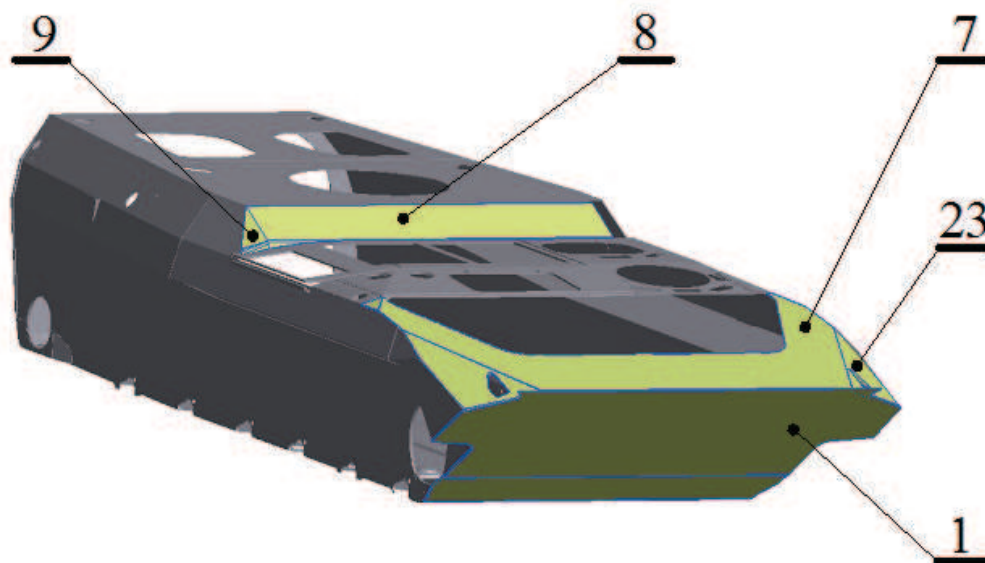
Návrh korby se skládá z 41 dílů. Minimální tloušťka plechu z hlediska balistické ochrany pro navržené konstrukční úhly byla stanovena podle vztahu (16) a (17).

### 5.1 Čelní část korby

Čelní část korby se skládá ze 5 dílů (plechů) znázorněných na obrázku 32. Minimální a jmenovitá tloušťka a konstrukční úhel jednotlivých plechů jsou uvedeny v tabulce 19.

Tab. 19 - Plechy čelní části korby

Pozice	Název plechu	Min. tloušťka (mm)	Jmenovitá tloušťka (mm)	Konstrukční úhel (°)
1	Čelní dolní pancíř	5,74	16	56
7	Čelní horní pancíř	2,28	8	80
8	Čelní horní pancíř I	4,78	12	63
9	Čelní horní pancíř II	4,54	12	PÚ
23	Čelní šikmý pancíř	7,24	18	PÚ



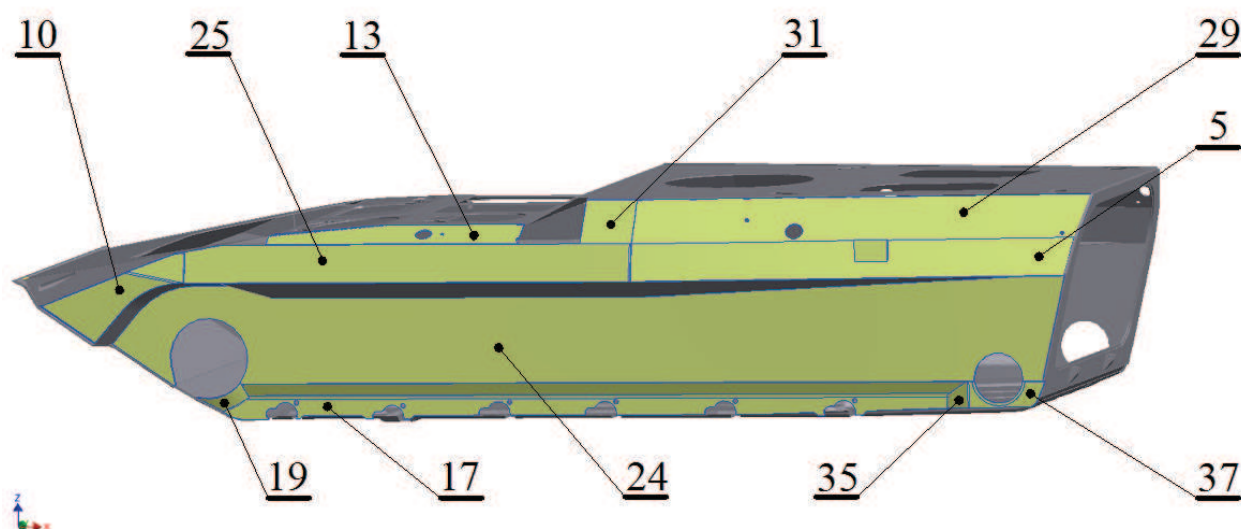
Obr. 32 - Čelní část korby

## 5.2 Boční část korby

Boční část korby se skládá z 11 dílů (plechů) znázorněných na obrázku 33. Minimální a jmenovitá tloušťka a konstrukční úhel jednotlivých plechů jsou uvedeny v tabulce 20.

Tab. 20 - Plechy boční části korby

Pozice	Název plechu	Min. tloušťka (mm)	Jmenovitá tloušťka (mm)	Konstrukční úhel (°)
5	Boční šikmý III – L	17,42	19	15
10	Boční šikmý pancíř I – L	17,42	19	PÚ
13	Boční šikmý VI	4,78	8	63
17	Redan – L	18,57	19	0
19	Redan I – L	10,54	12	PÚ
24	Bočnice	15,57	19	0
25	Boční šikmý II	17,42	19	15
29	Boční šikmý IV – L	8,5	10	38
31	Boční šikmý V	8,5	10	38
35	Redan II – L	10,52	14	PÚ
37	Redan III – L	10,52	19	0



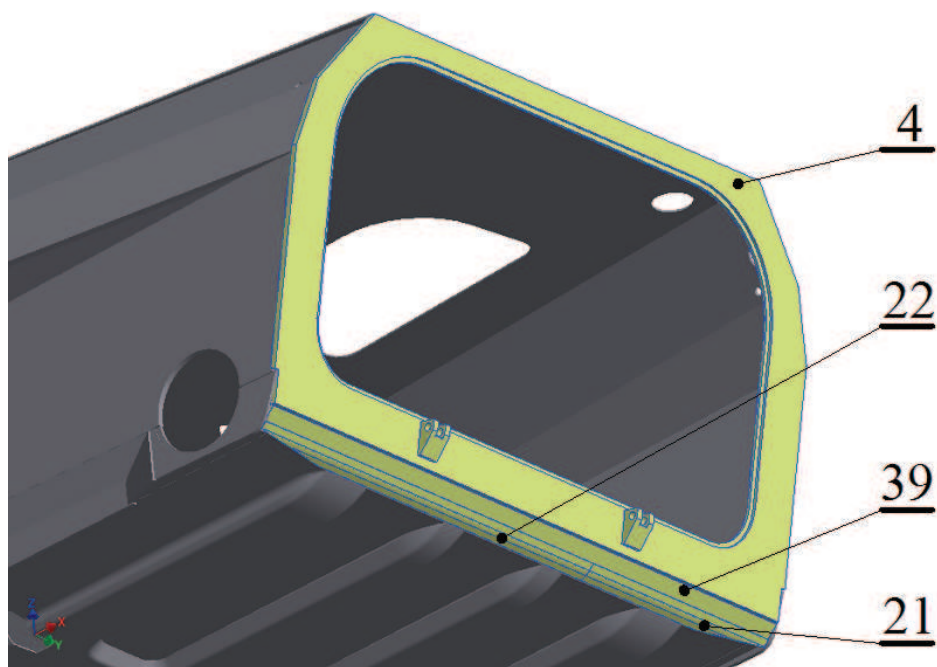
Obr. 33 - Boční část korby

## 5.3 Zadní část korby

Zadní část korby se skládá ze 4 dílů (plechů) znázorněných na obrázku 34. Minimální a jmenovitá tloušťka a konstrukční úhel jednotlivých plechů jsou uvedeny v tabulce 21.

Tab. 21 - Plechy boční části korby

Pozice	Název plechu	Min. tloušťka (mm)	Jmenovitá tloušťka (mm)	Konstrukční úhel (°)
4	Zadní pancíř	17,76	18	13,5
21	Zadní pancíř II	4,1	6	68
22	Zadní pancíř III	4,1	6	68
39	Zadní pancíř I	6,8	12	48,5



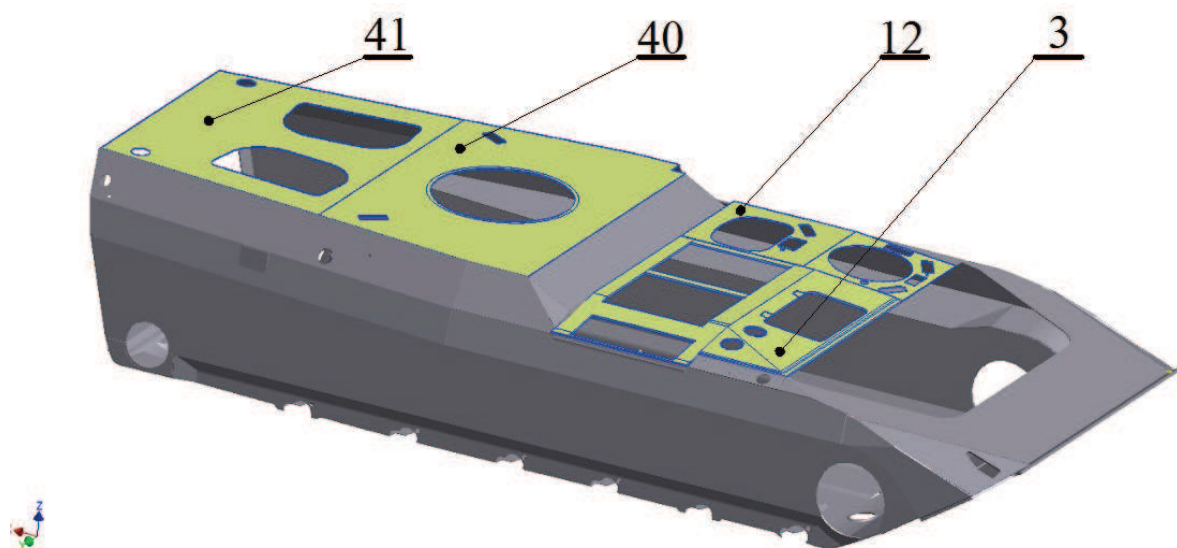
Obr. 34 - Zadní část korby

#### 5.4 Strop korby

Strop korby se skládá ze 4 dílů (plechů) znázorněných na obrázku 35. Minimální a jmenovitá tloušťka a konstrukční úhel jednotlivých plechů jsou uvedeny v tabulce 22.

Tab. 22 - Plechy boční části korby

Pozice	Název plechu	Min. tloušťka (mm)	Jmenovitá tloušťka (mm)	Konstrukční úhel (°)
3	Stropní pancíř II	1,32	12,5	85-90
12	Stropní pancíř I	1,32	8	85-90
40	Stropní pancíř III	0	8	90
41	Stropní pancíř IV	0	8	90



Obr. 35 - Strop korby

## **5.5 Dno korby**

Dno korby je v původním provedení. Jeho modernizace se musí provést na požadavek proti účinku min. Je velká pravděpodobnost, že bude řešeno jako dvojité dno. Z tohoto důvodu je v zadní části korby naznačen druhý plech dna korby, ke kterému je přivařena konzola pro uchycení hydraulického pístu ovládání rampy.

## **5.6 Dílčí závěr**

Konstrukční návrh korby pro modernizovaná vozidla BVP-1 a BVP-2 vyplývá z obrázků 32 až 35 a je znázorněn na výkrese, viz. Příloha F. Zachovává původní koncepci vozidla, tj. motor-převodový prostor v přední části vozidla, prostor řidiče a velitele v levé střední části vozidla a prostor roje v zadní části vozidla. Výška prostoru roje je zvýšena o 150 mm. Otvory pro zadní dveře jsou nahrazeny jedním otvorem pro sklopnou rampu.

## 6. Díly vozidla BVP

V souladu se zadáním diplomové práce, byly kromě korby BVP detailně konstrukčně rozpracovány tři díly pro modernizované BVP a to:

- rampa,
- nouzové dveře,
- závěsná oka.

### 6.1 Rampa

Pro modernizovaná vozidla BVP se požaduje nahradit stávající zadní dveře pro nastupování a vystupování členů roje sklopnou rampou s nouzovými dveřmi. Konstrukční řešení rampy musí kromě požadavku na balistickou odolnost splňovat řadu dalších požadavků specifikovaných uživateli vozidel. Požadavky na rampu s nouzovými dveřmi jsou uvedeny v [17]. Z hlediska projektování rampy jsou nejdůležitější následující požadavky:

- rampa s nouzovými dveřmi musí splňovat požadavky na balistickou ochranu jako korba vozidla,
- rozměry rampy musí umožnit nastupování a vystupování osoby (výška 180 cm, váha 90 kg) s výstrojí a modulární ochrannou vestou 40 kg;
- maximální doba na otevření nebo zavření rampy je 7 sekund;
- stykové plochy mezi rampou a korbou, rampou a dveřmi musí umožnit vytvořit přetlak v korbě;
- minimální sklon rampy od vodorovné roviny musí být 15°.

#### 6.1.1 Návrh řešení rampy

Na základě rozborů řešení ramp u současných KBV a OT popsaných a zobrazených v [17] a požadavků na rampu pro modernizované BVP je zpracována níže uvedená morfologická matice.

Tab. 23 - Morfologická matice řešení rampy

Dílčí funkce	Funkční principy – technické řešení		
	1	2	3
Provedení	Jednoduché	Sendvičové	-
Otevírání	Dolu	Doprava/doleva	Nahoru
Ovládání rampy	Mechanické	Elektrické	Hydraulické
Těsnění rampy	Pryžové mikroporézní profily	Pryžové profily – pryž EPDM nebo NBR	Profily ze silikonové pryže
Počet konzol pro uchycení ke korbě	Dvě	Tři	Čtyři



Dílní funkce	Funkční principy – technické řešení		
	1	2	3
Umístění hydraulických válců	Uvnitř korby	Na vnější straně zadního pancíře korby	Na vnější straně dna korby
Nouzové dveře	Bez dveří	Jedny dveře	Dvoje dveře
Závěsy nouzových dveří	Dva	Tři	Tyčové
Těsnění nouzových dveří	Pryžové mikroporézní profily	Pryžové profily – pryž EPDM nebo NBR	Profily ze silikonové pryže

Na základě provedených rozborů, zhodnocení výhod a nevýhod jednotlivých řešení a požadavků na rampu s nouzovými dveřmi se pro modernizované BVP navrhuje následující řešení rampy (zeleně podbarveno v morfologické matici):

#### Otevírání

Při zachování stávající koncepce vozidla BVP-1 a BVP-2, může být nastupování a vystupování členů roje pouze přes zadní část korby. Z důvodu velikosti rampy (šířka současných dveří je 1750 mm) je vyloučeno otevírání do boků a nahoru. Z výše uvedených důvodů se otevírání rampy navrhuje dolů.

#### Ovládání rampy

Ovládání rampy se navrhuje hydraulické, pomocí dvou hydromotorů. Rampa bude ke korbě uchycena prostřednictvím konzol a čepů. Toto řešení se osvědčilo u vozidla KBVP a plně vyhovuje předpokládanému uživateli v AČR. Při výběru hydromotorů bude využit výrobní program společnosti HYDRAULICS s.r.o. a její nabídka na dodávku hydromotorů na konkrétní požadavky zákazníka. [18]

#### Umístění hydraulických válců

Z důvodu profilu dna korby, světlé výšky vozidla a řešení zadního pancíře se navrhuje umístit hydraulické válce do korby vozidla pod sedačky členů roje.

#### Provedení rampy

Rampa s nouzovými dveřmi bude řešena sendvičovým provedením. Venkovní strana bude provedena z pancéřové oceli ARMOX 500 silnější tloušťky než vnitřní strana dveří. Součet tloušťek stěn rampy musí spolehlivě zabezpečit požadovanou balistickou ochranu.

#### Nouzové dveře

Pro umožnění nastupování a vystupování z vozidla při poruše ovládání rampy budou součástí rampy nouzové dveře. Dveře budou k rampě uchyceny prostřednictvím závěsů, ovládání bude ručně otevíráním do strany.

### Utěsnění rampy a dveří

Utěsnění rampy a nouzových dveří bude provedeno pryžovým profilovým těsněním. Při výběru pryžového profilového těsnění bude využit výrobní program společnosti GUMEX, spol. s r.o. a její nabídka na dodávku profilového těsnění na konkrétní požadavky zákazníka. [19]

#### 6.1.2 Výpočty pro návrh konstrukčního řešení rampy a dveří

Pro technické řešení rampy s nouzovými dveřmi a pro následné posouzení a vyhodnocení balistické ochrany je nezbytné stanovit:

- pancéřový materiál a tloušťky jednotlivých detailů (plechů),
- konzoly, závěsy a čepy,
- řešení stykových spojů.

Pro výše uvedené řešení byly provedeny potřebné výpočty, viz. níže.

##### 6.1.2.1 Tloušťka pancíře a hmotnost rampy

Minimální tloušťka pancíře z oceli ARMOX 500T pro konstrukční úhel plechu rampy 13° byla stanovena ze vztahu (17) a je 18 mm. Výpočet celkové tloušťky pancíře sendvičového provedení rampy je proveden podle vztahu (18) při zohlednění horní výrobní tolerance výroby plechů.

$$\begin{aligned}t_{sk} &= (t_{1j} + H_{max}) + (t_{2j} + H_{max}) \\t_{sk} &= (10,0 + 0,8) + (8,0 + 0,8) \\t_{sk} &= 19,6 \text{ mm}\end{aligned}\tag{18}$$

$t_{sk}$  - skutečná tloušťka pancíře [mm]

$t_{1j}$  - jmenovitá tloušťka venkovního pancíře [mm]

$t_{2j}$  - jmenovitá tloušťka vnitřního pancíře [mm]

$H_{max}$  - horní výrobní tolerance [mm]

Pro výpočet hmotnosti rampy sendvičového provedení bude použita hodnota 19,6 mm.

Hmotnost rampy se stanoví ze vztahu (19):

$$\begin{aligned}m &= \rho \cdot V = \rho \cdot t_{sk} \cdot \bar{s} \cdot v \quad [\text{kg}] \\m &= 7850 \cdot 0,0196 \cdot 1,8 \cdot 0,98 = 272 \text{ kg}\end{aligned}\tag{19}$$

$m$  - hmotnost rampy [kg]

$\bar{s}$  - šířka rampy [m]

$v$  - výška rampy [m]

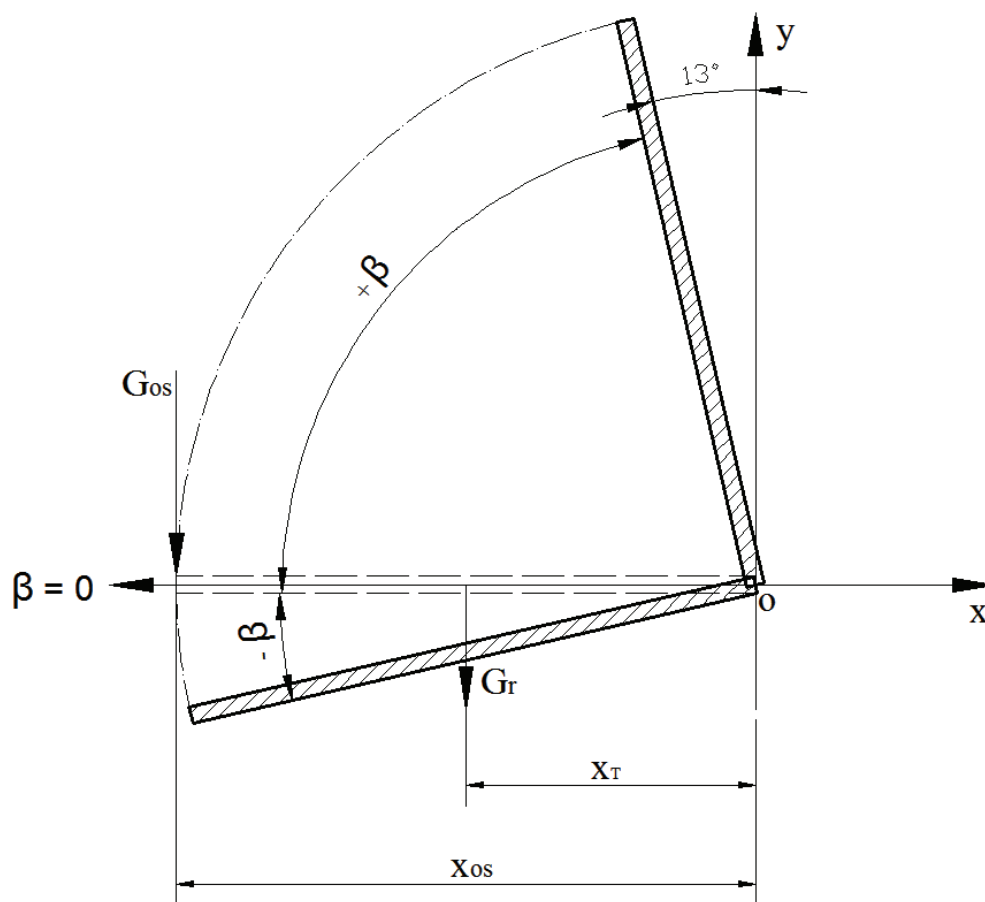
Pro výpočet zatížení čepů a síly v hydraulických válcích bude použita hmotnost rampy 272,0 kg.

Pro výpočet budou dále uvažovány následující hmotnosti:

- hmotnost člena osádky: 90 kg,
- hmotnost výstroje člena osádky a modulární ochranné vesty: 40 kg,
- hmotnost konzol, čepů, zámek atd.: 40 kg.

### 6.1.2.2 Momenty v jednotlivých polohách otevírání rampy

Výpočet momentu vychází ze základní podmínky rovností momentů od sil působících na rampu k otočnému bodu.



Obr. 36 - Polohy rampy a působení sil

Vstupní údaje a volené hodnoty pro výpočty:

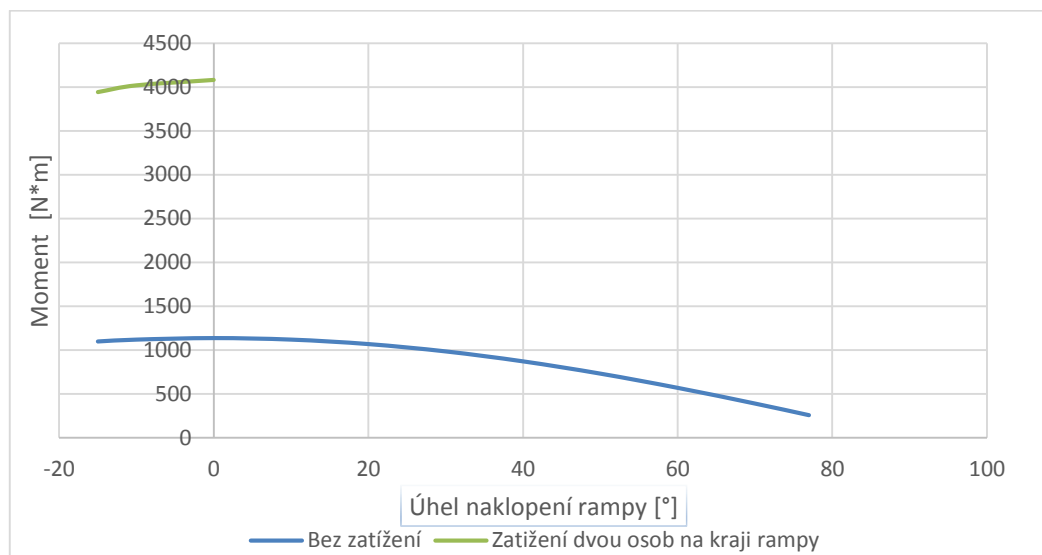
$\beta$  - úhel sklopení rampy [°], v rozsahu - 15° až 0° a 0° až +77°,  
 $m_r$  - hmotnost rampy [kg], dle bodu 6.1.2.1 je hmotnost 312 kg,  
 $m_{os}$  - hmotnost výsadku a příslušenství [kg], dle bodu 6.1.2.1 je hmotnost 300 kg,  
 $x_T$  - rameno síly  $G_r$  [m], délka 0,5 m,  
 $x_{os}$  - rameno síly  $G_{os}$  [m], délka 1,0 m,  
 $G_r$  - tíhová síla od hmotností rampy [N],  
 $G_{os}$  - tíhová síla od hmotnosti výsadku a příslušenství [N],  
 O - bod otáčení rampy.

Výpočet momentu pro úhel sklopení rampy  $\beta = -15^\circ$  se provede podle vztahu (20):

$$M_o = \cos\alpha \cdot m_r \cdot g \cdot x_T + \cos\beta \cdot m_{os} \cdot g \cdot x_{os} \quad [\text{N}\cdot\text{m}] \quad (20)$$

$$M_o = \cos(-15) \cdot 312 \cdot 9,81 \cdot 0,5 + \cos(-15) \cdot 300 \cdot 9,81 \cdot 1,0 = 4\,320,94 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Závislost momentu na úhlu sklopení rampy je na obrázku 37.



Obr. 37 - Závislost momentu na úhlu sklopení rampy

### 6.1.2.3 Síla v ose hydraulických válců

Síla v ose hydraulických válců se stanoví ze vztahu (21):

$$F_p = \frac{M_o}{r \cdot \cos \gamma} \text{ [N]} \quad (21)$$

$$F_p = \frac{4\,320,94}{0,11336 \cdot \cos 54} = 64\,848,4 \text{ N}$$

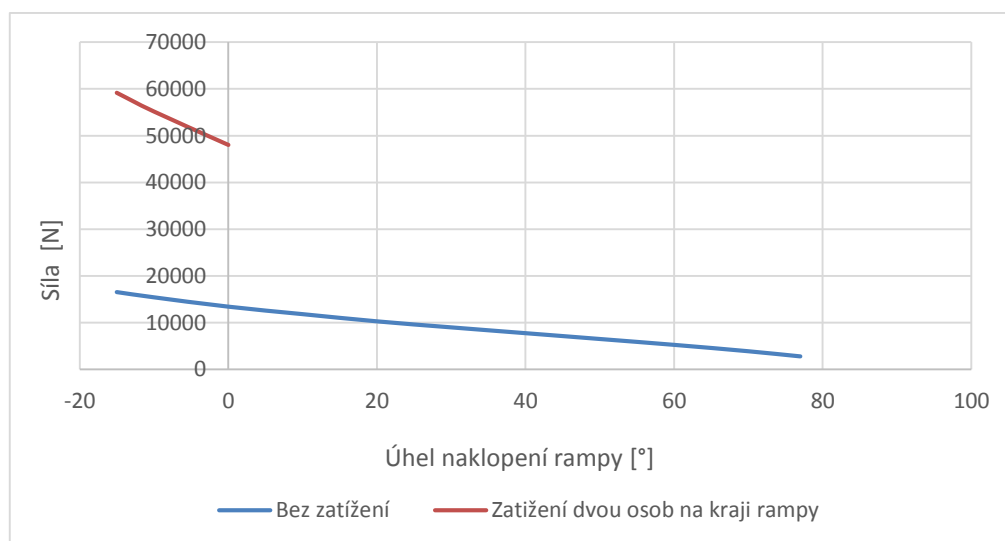
$F_p$  - síla v ose hydraulických válců [N]

$M_o$  - moment pro úhel sklopení rampy [N·m]

$r$  - rameno působení síly [m]

$\gamma$  - úhel mezi ramenem působení síly a poloměrem kružnice osy čepu [°]

Závislost síly v ose hydraulického válce na úhlu sklonu ramena působící síly je zobrazena na obrázku 38.



Obr. 38 - Závislost síly na úhlu sklonu ramena

#### 6.1.2.4 Tlak v hydraulické soustavě

Tlak v hydraulické soustavě pro ovládání rampy se stanoví ze vztahu (22):

$$p = \frac{\frac{F_p}{2}}{S} = \frac{4 \cdot \frac{F_p}{2}}{\pi \cdot D^2} \quad [\text{MPa}] \quad (22)$$

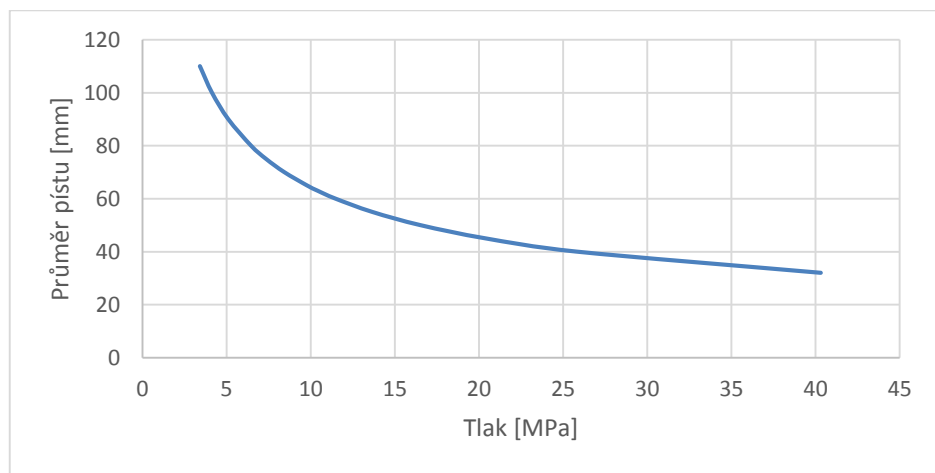
$$p = \frac{4 \cdot \frac{64848,4}{2}}{\pi \cdot 45^2} = 20,4 \text{ MPa}$$

p - tlak v hydraulické soustavě [MPa]

S - plocha pístu [m<sup>2</sup>]

D - průměr pístu [m]

Závislost tlaku v hydraulické soustavě na průměru hydraulického válce je na obrázku 39.



Obr. 39 - Závislost tlaku v hydraulické soustavě na průměru pístu

Ze závislosti tlaku na průměru pístu lze navrhnout hydromotor z výrobního programu společnosti HYDRAULICS s r.o. [18]

#### 6.1.2.5 Průtok v hydraulické soustavě

Průtok v hydraulické soustavě pro dobu otevírání a zavírání rampy se stanoví ze vztahu (23) a (24):

Průtok po dobu otevírání rampy:

$$Q_o = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \frac{h}{t} \cdot \frac{60}{10^6} \quad [\text{l} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (23)$$

$$Q_o = \frac{\pi \cdot 45^2}{4} \cdot \frac{246}{7} \cdot \frac{60}{10^6} = 3,35 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$$

Průtok po dobu zavírání rampy:

$$Q_o = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \cdot \frac{h}{t} \cdot \frac{60}{10^6} \quad [\text{l} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (24)$$

$$Q_o = \frac{\pi \cdot (45^2 - 25^2)}{4} \cdot \frac{246}{7} \cdot \frac{60}{10^6} = 2,32 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \quad [\text{l} \cdot \text{min}^{-1}]$$

t – čas [s] – je stanoven v zadání a je 7 s

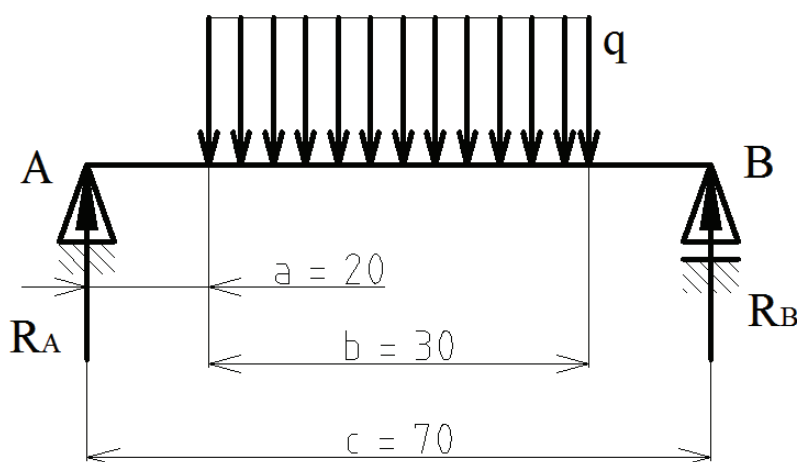
h – zdvih [mm] – volená hodnota 246 mm

D – průměr pístu [mm] – volená hodnota 45 mm  
d – průměr pístnice [mm] - volená hodnota 25 mm

Průtok v hydraulické soustavě o velikosti  $3,35 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$  lze zabezpečit standardními čerpadly dostupnými na tuzemském trhu.

#### 6.1.2.6 Čep konzoly

Spojení rampy se zadním šikmým pancířem se navrhuje pomocí čepového spoje. Ze vstupních údajů a volených rozměrů jsou provedeny výpočty zatížení, reakce v bodě A a B, ohybový moment, dovolené napětí, průměr čepu a kontrola na otlačení. Grafické schéma zatížení čepu konzoly uchycení rampy na zadní šikmý pancíř je zobrazeno na obrázku 40.



Obr. 40 - Schéma zatížení čepu konzoly.

Vstupní údaje a volené rozměry dle obrázku 36 a obrázku 40:

Materiál čepu:	15 421.7
Mez kluzu v tahu materiálu	$R_e = 981 \text{ MPa}$
Dovolенý tlak ve stykových plochách	$p_{dov} = 116 \text{ MPa}$
Součinitel míjivého zatížení pro ocel	$c_m = 0,8$
Součinitel bezpečnosti pro ocel	$k = 2,5$
Uhel mezi osou hydraulického válce při vodorovné poloze ( $\beta = 0$ ) a při maximálním otevření rampy ( $\beta = -15^\circ$ )	$\epsilon = 2^\circ$

Výpočet maximální síly působící na čepy se provede z podmínky rovnováhy sil (25) a (26):

$$\sum F_y = 0 \quad R_y - G_{os} - G_p - F_{py} = 0 \quad (25)$$

$$R_y = m_{os} \cdot g + m_p \cdot g + F_p \cdot \sin \epsilon \text{ [N]}$$

$$R_y = 300 \cdot 9,81 + 312 \cdot 9,81 + 64848,4 \cdot \sin 2 = 8\,266,9 \text{ N}$$

$$\sum F_x = 0 \quad R_x - F_{px} = 0 \quad (26)$$

$$R_x = F_{px} = F_p \cdot \cos \epsilon \text{ [N]}$$

$$R_x = 59159,92 \cdot \cos 2 = 64\,808,9 \text{ N}$$

Výpočet maximální síly působící na čepy:

$$F_c = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \quad [\text{N}] \quad (27)$$

$$F_c = \sqrt{64\,808,9^2 + 8\,266,9^2} = 65\,334 \text{ N}$$

Maximální síly působící na jeden čep je 32 667 N

Výpočet spojitého zatížení q:

$$q = \frac{F_{c1}}{b} [\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}] \quad (28)$$

$$q = \frac{32\,667}{30} = 1088,9 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$$

Výpočet reakce R v bodě A a B:

Pro sílu  $F_{c1}$  působící v polovině vzdálenosti obou reakcí, platí podmínka  $R_A = R_B$ :

$$R_A \cdot c - F_{c1} \cdot \frac{c}{2} = 0 \quad (29)$$

$$R_A = F_{c1} \cdot \frac{c}{2} \cdot \frac{1}{c} = \frac{F_{c1}}{2} = \frac{32\,667}{2} = 16\,333,5 \text{ N}$$

Výpočet maximálního ohybového momentu  $M_{\text{omax}}$ :

$$M_{\text{omax}} = R_A \cdot \left(\frac{a}{2} + \frac{b}{2}\right) - q \cdot \frac{b}{2} \cdot \frac{b}{4} [\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}] \quad (30)$$

$$M_{\text{omax}} = 16\,333,5 \cdot \left(\frac{20}{2} + \frac{30}{2}\right) - 1088,9 \cdot \frac{30}{2} \cdot \frac{30}{4} = 285\,836,25 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$$

Výpočet dovoleného napětí v ohybu  $\sigma_{DO}$ :

$$\sigma_{DO} = \frac{R_e}{k} \cdot c_m [\text{Mpa}] \quad (31)$$

$$\sigma_{DO} = \frac{981}{2,5} \cdot 0,8 = 313,9 \text{ MPa}$$

Výpočet průměru čepu  $d_c$  z průřezového modulu v ohybu a z dovoleného napětí v ohybu:

$$\sigma_{O\text{Max}} = \frac{M_{\text{omax}}}{W_o} = \frac{32 \cdot M_{\text{omax}}}{\pi \cdot d_c^3} \leq \sigma_{DO} [\text{Mpa}] \quad (32)$$

$$\frac{32 \cdot M_{\text{omax}}}{\pi \cdot d_c^3} = \sigma_{DO}$$

$$d_c = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{\text{omax}}}{\sigma_{DO} \cdot \pi}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 285\,836,25}{313,9 \cdot \pi}} = 21 \text{ mm}$$

Průměr čepu z dovoleného napětí v ohybu je 21 mm. Pro další řešení konzoly je navržen čep o průměru 24 mm dle ČSN EN 22341.

Kontrola na otláčení p se provede podle vztahu (33) a (34):

$$p_1 = \frac{F_{c1}}{S} = \frac{F_{c1}}{d_c \cdot b} [\text{Mpa}] \quad (33)$$

$$p_1 = \frac{32\,667}{24 \cdot 30} = 45,37 \text{ MPa} < p_{\text{dov}} = 116 \text{ MPa}$$

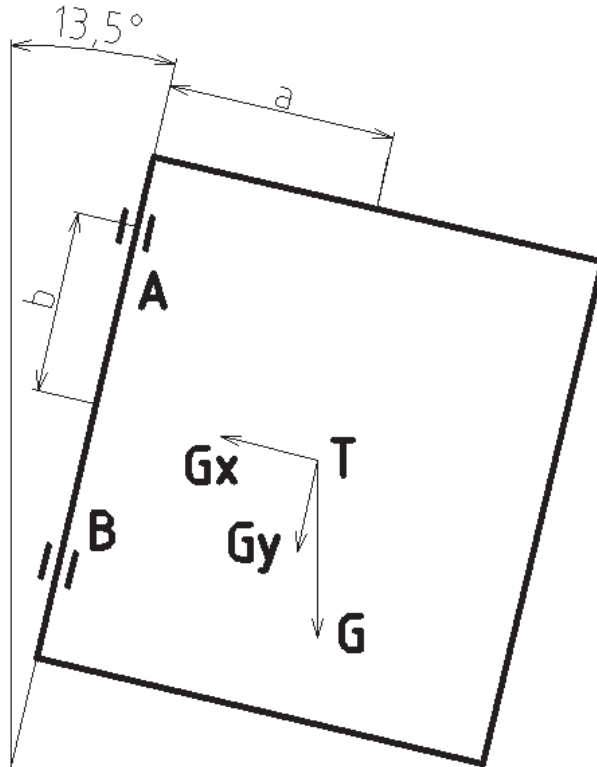
$$p_2 = \frac{R_A}{S} = \frac{R_A}{d_c \cdot a} [\text{Mpa}] \quad (34)$$

$$p_2 = \frac{16\,333,5}{24 \cdot 20} = 34 \text{ MPa} < p_{\text{dov}} = 116 \text{ MPa}$$

Čep vyhovuje pevnostní podmínce na otláčení ve stykových plochách.

### 6.1.2.7 Čep závěsu

Spojení nouzových dveří s rampou se navrhuje pomocí čepového spoje. Ze vstupních údajů a volených rozměrů jsou provedeny výpočty zatížení, reakce v bodech A a B, smykové napětí, namáhání na otláčení a maximální síla. Grafické schéma zatížení čepu závěsu uchycení nouzových dveří na rampu je zobrazeno na obrázku 41.



Obr. 41 - Schéma zatížení čepu závěsu

Vstupní údaje a volené rozměry:

Hmotnost dveří

$m = 91 \text{ kg}$

Průměr čepu

$d_c = 12 \text{ mm}$

Vzdálenost těžiště od osy závěsu

$a = 0,30 \text{ m}$

Vzdálenost těžiště od středu závěsu

$b = 0,35 \text{ m}$  nebo  $0,2$

Konstrukční uhel dveří

$\alpha = 13,5^\circ$

Materiál čepu:

11 600

Dovolené napětí na otláčení

$p_{dov} = 115 \text{ MPa}$

Dovolené smykové napětí

$\tau_{dov} = 60 \text{ MPa}$

Výpočet zatěžující síly  $G_x$  a  $G_y$  v ose x a y se provede podle vztahu (35) a (36):

Složka síly  $G_y$  ve směru osy y:

$$G_y = \cos 13,5^\circ \cdot m \cdot g \text{ [N]}$$

(35)

$$G_y = \cos 13,5^\circ \cdot 91 \cdot 9,81 = 868 \text{ N}$$

Složka síly  $G_x$  ve směru osy x:

$$G_x = \sin 13,5^\circ \cdot m \cdot g \text{ [N]}$$

(36)

$$G_x = \sin 13,5^\circ \cdot 91 \cdot 9,81 = 208,4 \text{ N}$$



Výpočet reakce v bode A a B se provede ze statické rovnováhy (37) a (38):

$$\sum F_x = 0 \quad (37)$$

$$0 = R_{bx} - R_{ax} + G_x$$

$$R_{ax} = R_{bx} + G_x = 402,13 + 208,4 = 610,53 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0 \quad (38)$$

$$R_{by} = G_y$$

$$R_{by} = G_y = 868 \text{ N}$$

$$\sum M_A = 0 \quad (39)$$

$$R_{bx} \cdot 2a + G_x \cdot a - G_y \cdot b = 0$$

$$R_{bx} = \frac{G_y \cdot b - G_x \cdot a}{2a} = \frac{868 \cdot 0,35 - 208,4 \cdot 0,3}{2 \cdot 0,3} = 402,13 \text{ N}$$

Výpočet smykového napětí:

$$\tau = \frac{R_{ax}}{d_c \cdot b} [\text{MPa}] \quad (40)$$

$$\tau = \frac{610,53}{12 \cdot 20} = 2,54 \text{ MPa} \leq \tau_{dov} = 60 \text{ MPa}$$

Výpočet namáhání na otlačení:

$$p = \frac{4 \cdot R_{by}}{\pi \cdot d_c^2} [\text{MPa}] \quad (41)$$

$$p = \frac{4 \cdot 868}{\pi \cdot 12^2} = 7,67 \text{ MPa} \leq p_{dov} = 115 \text{ MPa}$$

Výpočet maximální síly z dovoleného otlačení a smykového napětí se provede podle vztahu (42) a (43):

$$F_{maxx} = \tau_{dov} \cdot d_c \cdot b [\text{N}] \quad (42)$$

$$F_{maxx} = 60 \cdot 12 \cdot 20 = 14\,400 \text{ N}$$

$$F_{maxy} = \frac{p_{dov} \cdot \pi \cdot d_c^2}{4} [\text{N}] \quad (43)$$

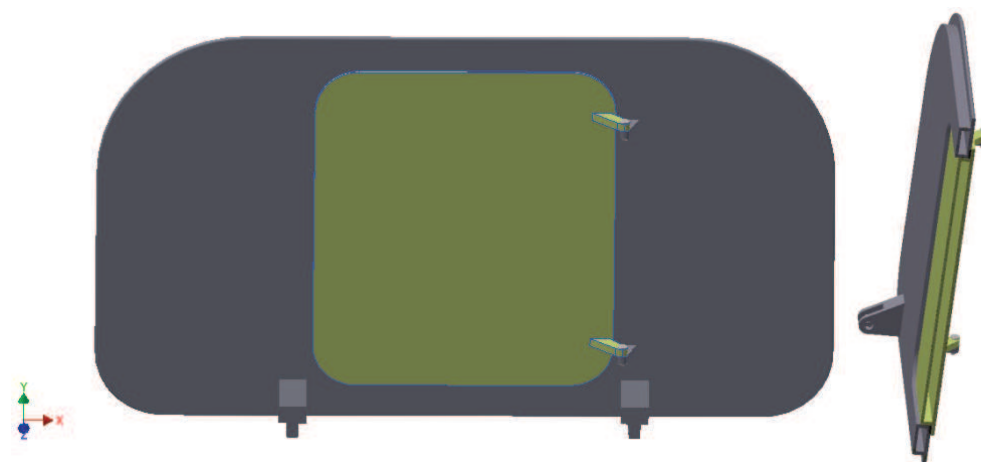
$$F_{maxy} = \frac{115 \cdot \pi \cdot 12^2}{4} = 13\,006 \text{ N}$$

Maximální zatížení v ose x je 14400 N a v ose y je 13006 N. Hodnoty jsou podstatně vyšší než jsou vypočítány ze vztahu (35) a (36).

### 6.1.3 Konstrukční návrh řešení rampy s nouzovými dveřmi

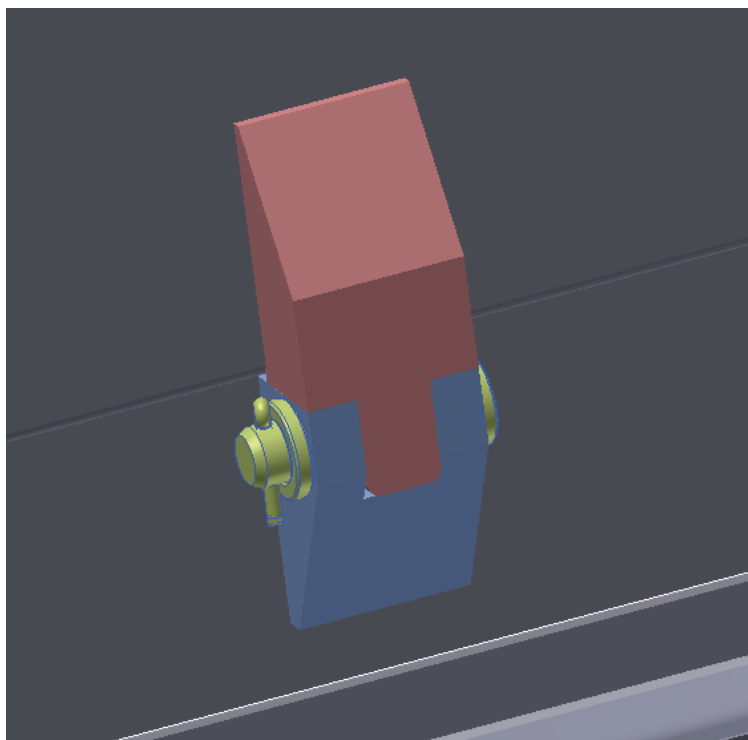
Konstrukční návrh rampy s nouzovými dveřmi byl vymodelován z podkladů uvedených v návrhu řešení rampy (kapitola 6.1.1) a výpočtů (kapitola 6.1.2). Model je vytvořen vymodelováním samostatných konstrukčních prvků, které se vkládají do sestav. Ze sestav jsou vytvořeny jednotlivé technické celky, které v nejvyšší sestavě tvoří model rampy.

Rampa s nouzovými dveřmi (viz. obr. 42) je tvořena rampou, nouzovými dveřmi, konzolami, závěsy, čepy, podložkami, závlačkami a těsněním. Rampa i nouzové dveře jsou vyrobeny ze dvou plechů z oceli ARMOX 500T vzájemně spojených ocelovými konstrukčními prvky.



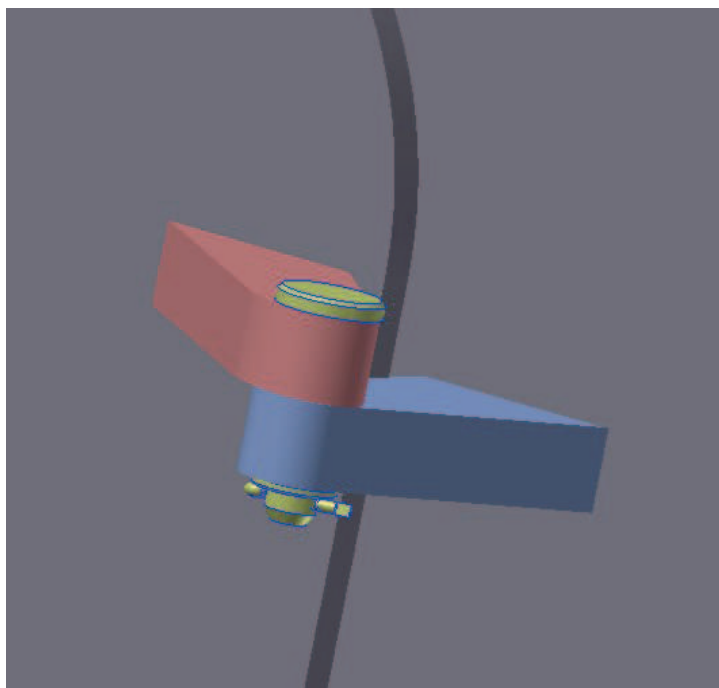
Obr. 42 - Model rampy s nouzovými dveřmi

Rampa je k zadnímu pancíři korby uchycena pomocí dvou konzol s čepy. Návrh konstrukčního řešení konzoly je uveden na obrázku 43.



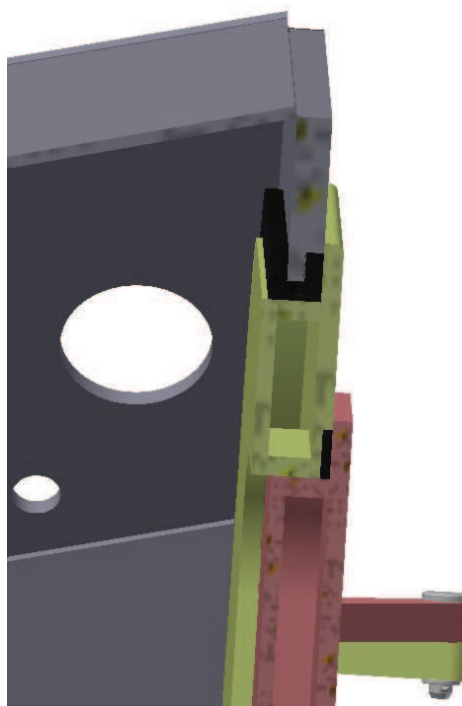
Obr. 43 - Uchycení rampy k zadnímu pancíři

K rampě jsou pomocí dvou závěsů s čepy uchyceny nouzové dveře. Návrh konstrukčního řešení závěsů je uveden na obrázku 44.



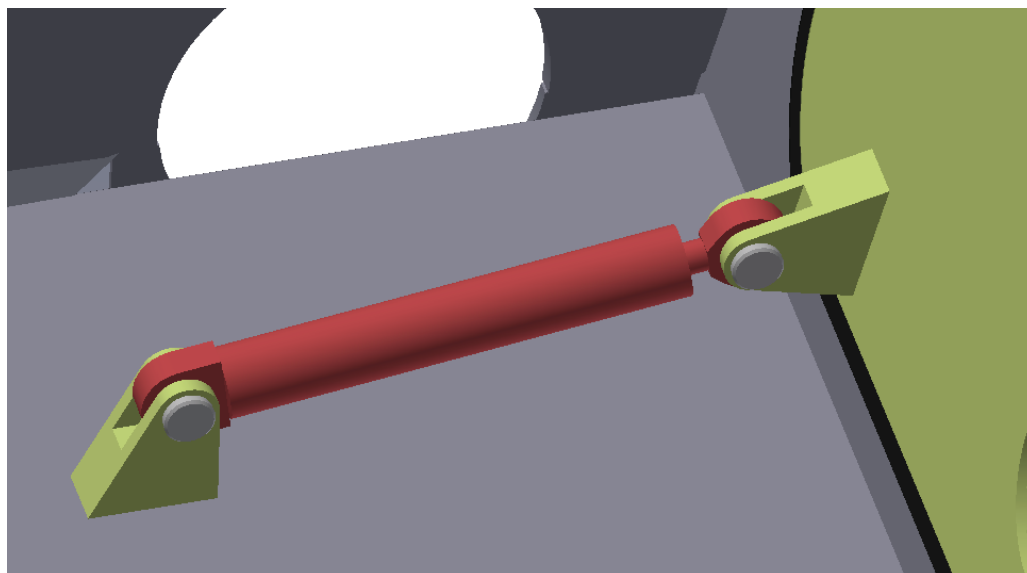
Obr. 44 - Uchycení nouzových dveří k rampě

Návrh utěsnění spojů mezi a rampou a zadním pancířem, rampou a nouzovými dveřmi je provedeno pryžovým těsněním a je zobrazen na obrázku 45.



Obr. 45 - Utěsnění rampy a nouzových dveří

Otevírání a zavírání rampy je navrženo prostřednictvím dvou hydraulických válců. Válce jsou z jedné strany uchyceny ke dnu korby prostřednictvím konzoly, oko pístnice je prostřednictvím konzoly uchyceno k vnitřnímu plechu rampy (viz. obr. 46).



Obr. 46 - Uchycení hydraulického válce

#### **6.1.4 Dílčí závěr**

V souladu se zadáním byl proveden rozbor současných ramp na vozidlech BVP a OT. Byly analyzovány výhody a nevýhody jednotlivých řešení a možnost využití dílčích řešení pro rampu modernizovaných vozidel BVP. Na vyspecifikované požadavky na rampu s nouzovými dveřmi je navrženo konkrétní řešení rampy. Návrh řešení je doložen základními výpočty, 3D modely a výkresovou dokumentací v Příloze F.

## 6.2 Závěsná oka

Pro modernizované BVP o hmotnosti 18 000 kg se požaduje navrhnout závěsná oka v souladu s požadavky STANAG 4062 [20]. V rámci konstrukčního řešení provést pevnostní výpočet tvarově a rozměrově daných závěsných ok na předepsaná zatížení a na jeho základě a s přihlédnutím na bezpečnostní požadavky navrhnout materiál závěsných ok. Požadavky pro závěsná oka na tvar, rozměry, umístění na vozidle, zatížení a pevnost (bezpečnost) jsou definovány normou STANAG 4062.

### 6.2.1 Umístění závěsných ok na vozidle a geometrie závěsu

Závěsná oka jsou na vozidle symetricky rozmístěna k těžišti vozidla a to v podélném směru ve vzdálenosti  $A_1, A_2$ , v příčném směru ve vzdálenosti  $B_1, B_2, B_3, B_4$ . Uzel závěsných pramenů je ve výšce  $H_1$  nad vodorovnou rovinou procházející osou závěsných ok a ve výšce  $H$  nad zemí. Poloha závěsných ok a závěsných pramenů je schematicky znázorněna v Příloze E.

Hodnoty rozměrů pro pevnostní výpočet závěsného oka:

$$A_1 = A_2 = 2\,025,0 \text{ mm}$$

$$B_1 = B_2 = B_3 = B_4 = 1\,330,0 \text{ mm}$$

$$H_1 = 2\,500,0 \text{ mm}$$

$$H = 4\,080,0 \text{ mm}$$

Výpočet je proveden pro předpoklad  $B_1 = B_2 = B_3 = B_4$

Maximální možný úhel odklonu závěsného pramene od svislice  $\alpha_{ZO \max}$  (viz. Příloha E), který umožňují vnější obrysové rozměry vozidla je dán vztahem (44):

$$\alpha_{ZO} = \arctg \frac{\sqrt{A_1^2 + B_1^2}}{H_1} \quad [^\circ] \quad (44)$$
$$\alpha_{ZO} = \arctg \frac{\sqrt{2025^2 + 1330^2}}{2500} = 44,1^\circ$$

Úhel odklonu závěsného pramene  $\beta_{ZO}$  od silové složky  $F_x$  (viz. Příloha E), je dán vztahem (45).

$$\beta_{ZO} = \arcsin \frac{B_1}{\sqrt{A_1^2 + B_1^2}} \quad [^\circ] \quad (45)$$
$$\beta_{ZO} = \arcsin \frac{1330}{\sqrt{2025^2 + 1330^2}} = 33,3^\circ$$

### 6.2.2 Zatížení závěsného oka

Každé závěsné oko je zatíženo výslednou celkovou silou  $F_c$  závěsného pramene respektive současně působícími složkami této síly ve směru osy  $x, y, z$  (viz. obr. 52).

Velikost složek  $F_x, F_y$  a  $F_z$  výsledné celkové síly se stanoví z celkové hmotnosti vozidla  $m_c$ , z požadavku na bezpečnost  $k_F = 2,3$  a geometrii závěsu ze vztahů (46), (47) a (48).

Složka síly  $F_y$  ve směru osy  $y$ :

$$F_y = \frac{1}{4} \cdot k_F \cdot m \cdot g \quad [\text{N}] \quad (46)$$

$$F_y = \frac{1}{4} \cdot 2,3 \cdot 18\,000 \cdot 9,81 = 101\,533,5 \text{ N}$$

Složka síly  $F_x$  ve směru osy x:

$$F_x = F_y \cdot \operatorname{tg} \alpha_{zo} \cdot \cos \beta_{zo} \text{ [N]} \quad (47)$$

$$F_x = 101\,533,5 \cdot \operatorname{tg} 44,1 \cdot \cos 33,3 = 82\,237,43 \text{ N}$$

Složka síly  $F_z$  ve směru osy z:

$$F_z = F_y \cdot \operatorname{tg} \alpha_{zo} \cdot \sin \beta_{zo} \text{ [N]} \quad (48)$$

$$F_z = 101\,533,5 \cdot \operatorname{tg} 44,1 \cdot \sin 33,3 = 54\,019,9 \text{ N}$$

### 6.2.3 Vstupní údaje pro výpočty

Volené rozměry závěsného oka:

$$A = 30,0 \text{ mm}$$

$$B_{\max} = 35,0 \text{ mm}$$

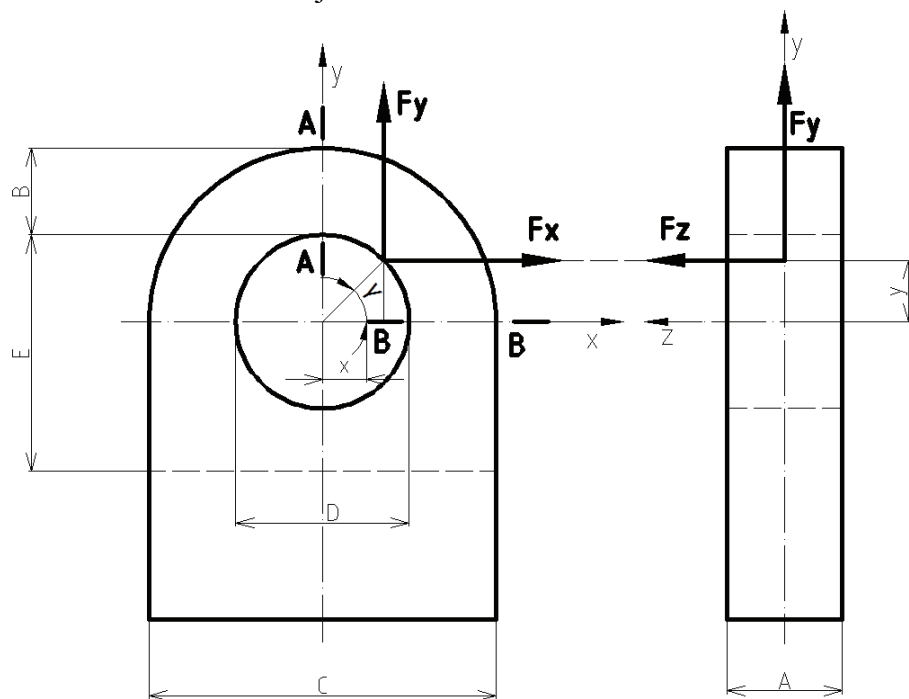
$$C = 150 \text{ mm}$$

$$E = 125 \text{ mm}$$

$$D = 80 \text{ mm}$$

Celková hmotnost vozidla  $m = 18\,000 \text{ kg}$ .

Zatěžovací schéma závěsného oka je na obrázku 47.



Obr. 47 - Zatěžovací schéma závěsného oka

Vypočet souřadnic působišť sil:

Úhel  $\gamma$ :

$$\gamma = \operatorname{arctg} \left( \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha \cdot \cos \beta} \right) [^\circ] \quad (49)$$

$$\gamma = \operatorname{arctg} \left( \frac{1}{\operatorname{tg} 44,1 \cdot \cos 33,3} \right) = 50,99^\circ$$

Vzdálenost X:

$$x = \frac{D}{2} \cdot \cos \gamma \quad [\text{mm}] \quad (50)$$

$$x = \frac{80}{2} \cdot \cos 50,99 = 25,18 \text{ mm}$$

Vzdálenost Y:

$$y = \frac{D}{2} \cdot \sin \gamma \quad [\text{N}] \quad (51)$$

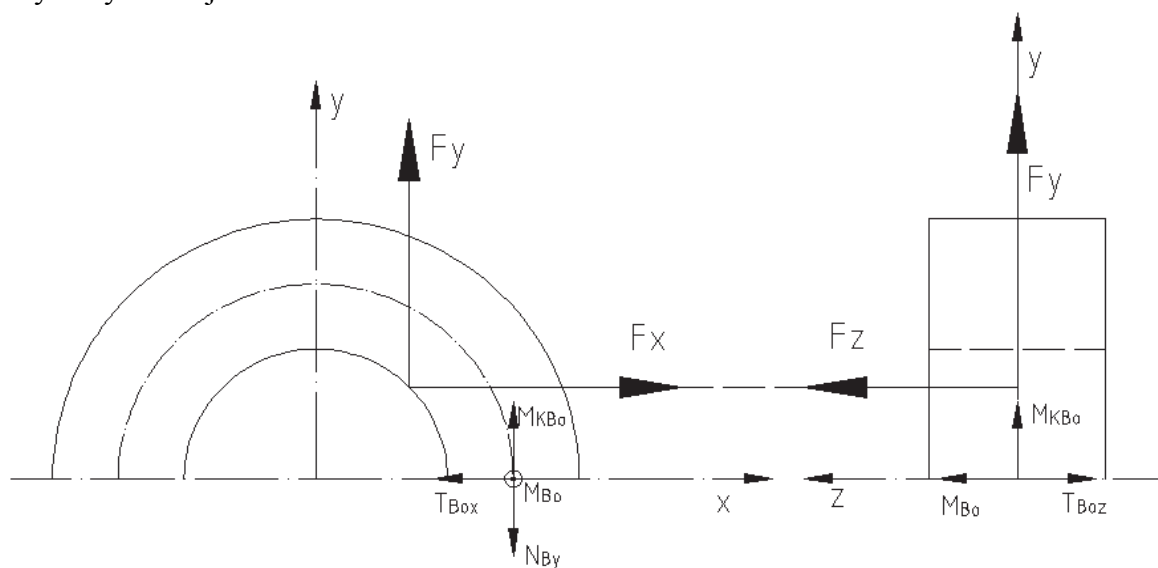
$$y = \frac{80}{2} \cdot \sin 50,99 = 31,10 \text{ mm}$$

#### 6.2.4 Pevnostní výpočet

Pevnostní výpočet závěsného oka je proveden pro jednotlivé působící síly nebo jejich složky ve dvou kritických průřezích a výsledné napětí je dáno součtem průřezů. Poloha průřezů je volena následovně:

- A – A      průřez ve vrcholové části oka v rovině y, z procházející podélnou osou oka.
- B – B      pravý průřez ve střední části oka v rovině x, z kolmé na podélnou osu oka.

Výpočet napětí v průřezích A-A a B-B je zjednodušeně prováděn jako výpočet staticky neurčitěho silně zakřiveného symetrického poloprstence a konstantním průřezem, který je zatížen danými vnějšími silami.



Obr. 48 - Výpočtový model oka

Vazebný účinek spodní části oka je nahrazen normálovými silami  $N_{By}$ , tečnými silami  $T_{Bx}$  a  $T_{Bz}$ , ohybovými momenty  $M_B$  a krouticími momenty  $M_{kB}$ .

Soustava je řešena tak, že jeden z průřezů je vetknutý a jednotlivé vazebné účinky se stanoví ze statických podmínek rovnováhy:

$$\sum F_x = 0; \sum F_y = 0; \sum F_z = 0, \sum M_F = 0 \quad (52)$$

a z deformačních podmínek v místech rozdělní (v průřezích B-B) vyjádřených Maxwell-Mohrovým integrálem:

$$\Delta \varphi = \frac{1}{E \cdot J} \cdot \int_l M_o \cdot M_\varphi dl = 0; \quad \Delta \varphi_k = \frac{1}{G \cdot J_P} \cdot \int_l M_k \cdot M_\varphi dl = 0 \quad (53)$$

Výsledná napětí v i-tém bodu průřezů jsou dána vektorovým součtem napětí od jednotlivých sil:

$$\sigma_{vys_i} = \sum_{i=1}^n \sigma_i; \tau_{vys_i} = \sqrt{(\sum_{i=1}^n \tau_{xi})^2 + (\sum_{i=1}^n \tau_{yi})^2 + (\sum_{i=1}^n \tau_{zi})^2} \quad (54)$$

Výsledné redukované napětí  $\sigma_{red}$  v libovolném i-tém bodu průřezu je podle teorie pevnosti HMH dáno vztahem:

$$\sigma_{red} = \sqrt{(\sum \sigma_{vys})^2 + 3(\sum \tau_{vys})^2} \quad [\text{MPa}] \quad (55)$$

$\sigma_i$  - normálové napětí v daném průřezu,

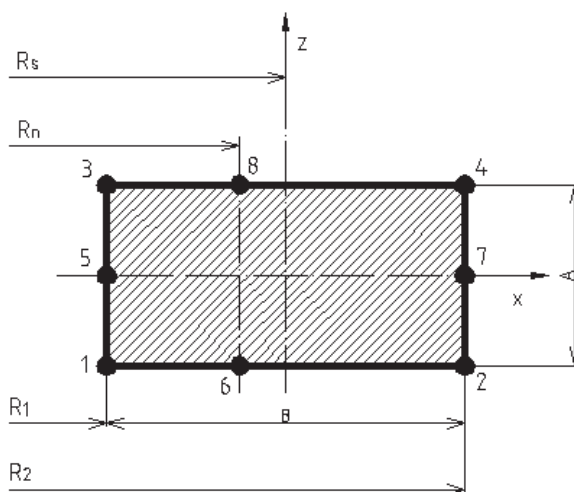
$\tau_{xi}$  - tečné napětí v daném průřezu ve směru osy x,

$\tau_{yi}$  - tečné napětí v daném průřezu ve směru osy y,

$\tau_{zi}$  - tečné napětí v daném průřezu ve směru osy z.

### 6.2.5 Výpočet napětí

Výpočet napětí ve sledovaných průřezích je postupně prováděn pro jednotlivé složky celkové zátěžné síly  $F_C$ , tj. pro síly  $F_X$ ,  $F_Y$  a  $F_Z$ .



Obr. 49 - Výpočtové body průřezu závěsného oka

Jelikož se jedná o silně zakřivený prut je pro výpočet napětí v průřezích nutné stanovit:

Poloměr neutrální osy  $R_n$ :

$$R_n = \frac{B}{\ln \frac{R_2}{R_1}} \quad [\text{mm}] \quad (56)$$

$$R_n = \frac{35}{\ln \frac{75}{40}} = 55,679 \text{ mm}$$

Poloměr střední osy  $R_s$ :

$$R_s = R_1 + \frac{B}{2} \quad [\text{mm}] \quad (57)$$

$$R_s = 40 + \frac{35}{2} = 57,5 \text{ mm}$$

Vzdálenost krajních vláken  $e_1$  a  $e_2$ :

$$e_1 = R_n - R_1 \quad [\text{mm}] \quad (58)$$



$$e_1 = 55,679 - 40 = 15,679 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} e_2 &= R_2 - R_n \text{ [mm]} \\ e_2 &= 75 - 55,679 = 19,321 \text{ mm} \end{aligned} \quad (59)$$

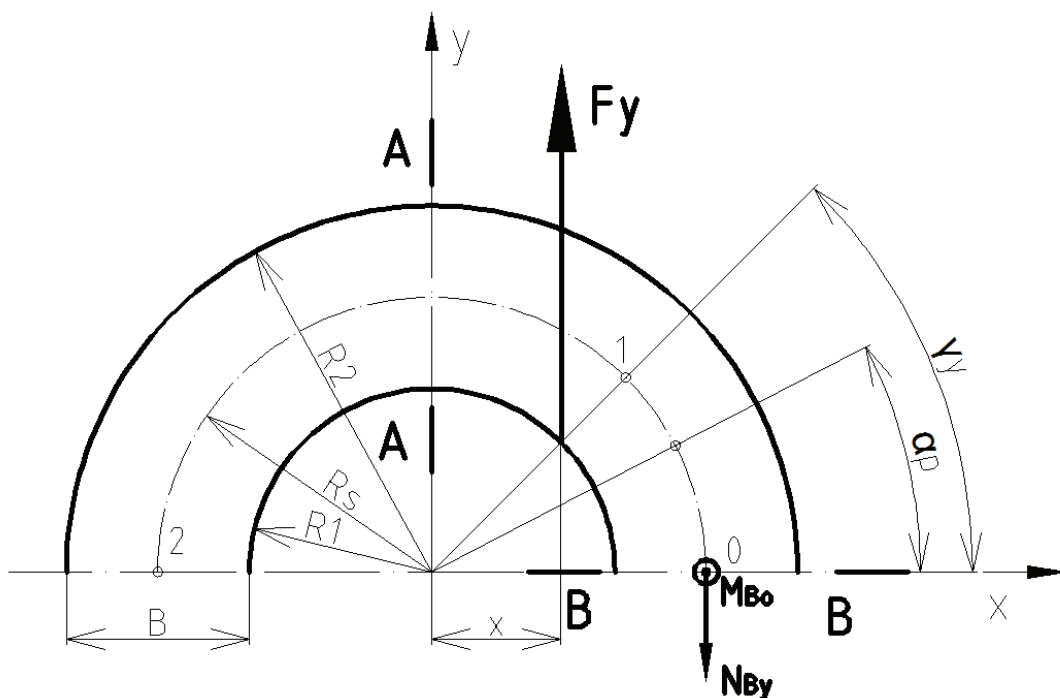
Posunutí neutrální osy k:

$$\begin{aligned} k &= R_s - R_n \text{ [mm]} \\ k &= 57,5 - 55,679 = 1,821 \text{ mm} \end{aligned} \quad (60)$$

Výsledné celkové napětí ve výpočtových bodech průřezů je dáno vektorovým součtem napětí od jednotlivých složek síly  $F_C$ .

### 6.2.5.1 Výpočet napětí od složky síly $F_y$

Při výpočtu napětí v průřezích se vychází z výpočtového zatěžovacího schématu dle obrázku 50.



Obr. 50 - Výpočtové schéma pro zatížení silou  $F_y$

Vazební účinky pravé strany.

Normálová síla  $N_{By}$  ze statické podmínky k bodu:

$$N_{By} = F_y \cdot \frac{R_s + x}{2 \cdot R_s} \text{ [N]} \quad (61)$$

$$N_{By} = 101\,533,5 \cdot \frac{57,5 + 25,18}{2 \cdot 57,5} = 72\,988,20 \text{ N}$$

Moment  $M_B$  z deformační podmínky v průřezu B-B:

$$\Delta\varphi_0 = 0; \quad \Delta\varphi_B = \frac{1}{E \cdot J} \cdot \int_{l_{01}} M_{o_{01}} \cdot M_\varphi \cdot dl + \frac{1}{E \cdot J} \cdot \int_{l_{12}} M_{o_{12}} \cdot M_\varphi \cdot dl = 0 \quad (62)$$

kde:

v úseku 0-1, tj. pro  $\alpha \in \langle 0^\circ, \gamma_y \rangle$  a v úseku 1-2, tj. pro  $\alpha \in \langle \gamma_y, \pi \rangle$  jsou momenty v libovolném průřezu:

$$M_{o_{01}} = N_{By} \cdot R_s \cdot (1 - \cos \alpha_p) - M_{Bo},$$

$$M_{o_{12}} = N_{By} \cdot R_s \cdot (1 - \cos \alpha_p) - M_{Bo} - F_y \cdot (x - R_s \cdot \cos \alpha_p),$$

- moment od jednotkové síly:  $M_\varphi = 1;$
- přírůstek délky:  $dl = R_s \cdot d\alpha_p;$

Dosazením do deformační podmínky a integrací dostaneme vztah pro velikost  $M_{Bo}$ :

$$M_{Bo} = N_{By} \cdot R_s - \frac{F_y \cdot x}{\pi} \cdot \left( \pi - \gamma_y + \frac{R_s}{x} \cdot \sin \gamma_y \right) [\text{N} \cdot \text{mm}] \quad (63)$$

$$M_{Bo} = 72\,988,20 \cdot 57,5 - \frac{101\,533,5 \cdot 25,18}{180} \cdot \left( 180 - 50,99 + \frac{57,5}{25,18} \cdot \sin 50,99 \right)$$

$$M_{Bo} = 2\,339\,237,14 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

### 6.2.5.2 Výpočet napětí v průřezu A-A

Vnitřní síly:

Ohybový moment  $M_{oA} = M_{o12}$  pro  $\alpha_p = \frac{\pi}{2}$ :

$$M_{oA} = N_{By} \cdot R_s \cdot (1 - \cos \alpha_p) - M_{Bo} - F_y \cdot (x - R_s \cdot \cos \alpha_p) [\text{N} \cdot \text{mm}] \quad (64)$$

$$M_{oA} = 72\,988,20 \cdot 57,5 \cdot (1 - \cos 90) - 2\,339\,237,14 - 101\,533,5 \cdot (25,18 - 57,5 \cdot \cos 90)$$

$$M_{oA} = -698\,454,17 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Výsledné napětí v krajních vláknech na poloměrech  $R_1$ ,  $R_2$  a  $R_s$ :

Napětí v krajních vláknech  $\sigma_{A1} = \sigma_{A3} = \sigma_{A5}$  jsou stejná,  $\sigma_{A2} = \sigma_{A4} = \sigma_{A7}$  jsou stejná.

$$\sigma_{A1} = -\frac{M_{oA}}{k \cdot A \cdot B} \cdot \frac{e_1}{R_n - e_1} [\text{MPa}] \quad (65)$$

$$\sigma_{A1} = -\frac{(-698\,454,17)}{1,821 \cdot 30 \cdot 35} \cdot \frac{15,679}{55,679 - 15,679} = 143,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{A2} = \frac{M_{oA}}{k \cdot A \cdot B} \cdot \frac{e_2}{R_n + e_2} [\text{MPa}] \quad (66)$$

$$\sigma_{A2} = \frac{(-698\,454,17)}{1,821 \cdot 30 \cdot 35} \cdot \frac{19,321}{55,679 + 19,321} = -94,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{A6} = \sigma_{A8} = 0$$

### 6.2.5.3 Výpočet napětí v průřezu B-B

Vnitřní síly:

Ohybový moment  $M_{oB} = M_{o01}$  pro  $\alpha_p = 0$ :

$$M_{oB} = N_{By} \cdot R_s \cdot (1 - \cos \alpha_p) - M_{Bo} [\text{N} \cdot \text{mm}] \quad (67)$$

$$M_{oB} = 72998,20 \cdot 57,5 \cdot (1 - \cos 0) - 2339237,14$$

$$M_{oB} = -2\,339\,237,14 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Normálová síla  $N_{By}$ :  $N_{By} = 72\,988,20 \text{ N}$

Výsledné napětí v krajních vláknech na poloměrech  $R_1$ ,  $R_2$  a  $R_3$ :

Napětí v krajních vláknech  $\sigma_{B1} = \sigma_{B3} = \sigma_{B5}$  jsou stejná,  $\sigma_{B2} = \sigma_{B4} = \sigma_{B7}$  jsou stejná.

$$\sigma_{B1} = -\frac{M_{oB}}{k \cdot A \cdot B} \cdot \frac{e_1}{R_n - e_1} + \frac{N_{By}}{A \cdot B} \text{ [MPa]} \quad (68)$$

$$\sigma_{B1} = -\frac{(-2339237,14)}{1,821 \cdot 30 \cdot 35} \cdot \frac{15,679}{55,679 - 15,679} + \frac{72988,20}{30 \cdot 35} = 549,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{B2} = \frac{M_{oB}}{k \cdot A \cdot B} \cdot \frac{e_2}{R_n + e_2} + \frac{N_{By}}{A \cdot B} \text{ [MPa]} \quad (69)$$

$$\sigma_{B2} = \frac{(-2339237,14)}{1,821 \cdot 30 \cdot 35} \cdot \frac{19,321}{55,679 + 19,321} + \frac{72988,20}{30 \cdot 35} = -245,7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{B6} = \sigma_{B8} = \frac{N_{By}}{A \cdot B} \text{ [MPa]} \quad (70)$$

$$\sigma_{B6} = \frac{72988,20}{30 \cdot 35} = 69,6 \text{ MPa}$$

#### 6.2.5.4 Výsledná napětí v průřezích závěsného oka

Výsledná normálová napětí  $\sigma_{vys\,i}$  a tečná napětí  $\tau_{vys\,i}$  v jednotlivých bodech průřezu A-A a B-B jsou dána vektorovým součtem dílčích napětí od jednotlivých sil a výsledné redukované napětí  $\sigma_{red\,i}$  je stanoveno podle teorie HMM.

$$\sigma_{vys\,i} = \sum_{i=1}^n \sigma_i \text{ [MPa]} \quad (71)$$

$$\sigma_{vys\,i} = -131,42 + 549,1 + 1 = 418,68 \text{ MPa}$$

$$\tau_{vys\,i} = \sqrt{(\sum_{i=1}^n \tau_{xi})^2 + (\sum_{i=1}^n \tau_{yi})^2 + (\sum_{i=1}^n \tau_{zi})^2} \text{ [MPa]} \quad (72)$$

$$\tau_{vys\,i} = \sqrt{(39,2)^2 + (0)^2 + (37)^2} = 53,9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{(\sum \sigma_{vys})^2 + 3(\sum \tau_{vys})^2} \text{ [MPa]} \quad (73)$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{(418,68)^2 + 3(53,9)^2} = 429 \text{ MPa}$$

Výpočet napětí v sledovaných průřezích a pro jednotlivé složky celkové zatěžovací síly je uveden v [25].

Výsledná napětí v průřezu A-A závěsného oka jsou uvedeny v tabulce 24 a výsledná napětí v průřezu B-B závěsného oka jsou uvedeny v tabulce 25.

Tab. 24 - Výsledná napětí v průřezu A-A závěsného oka

Napětí		$\sigma_{Ai}$ [MPa]							
Bod i		1	2	3	4	5	6	7	8
zatížen í	$F_x$	-332,8	218,72	-332,8	218,72	-332,8	0	218,72	0
	$F_y$	143,2	-94,1	143,2	-94,1	143,2	0	-94,1	0
	$F_z$	-165,3	-165,3	165,3	165,3	0	-165,3	0	165,3
$\sigma_{vys i}$		-354,9	-40,68	-354,9	-40,68	-189,6	-165,3	124,62	165,3
Napětí		$\tau_{Ai}$ [MPa]							
Bod i		1	2	3	4	5	6	7	8
Směr		y	z	y	z	y	z	y	z
zatížen í	$F_x$	-	-	-	-	-	-	-	-
	$F_y$	-	-	-	-	-	-	-	-
	$F_z$	-	-	-	-	-	-84,5	90,2	-
$\tau_{vys i}$		-	-	-	-	84,5	90,2	84,5	90,2
Napětí		$\sigma_{red i}$ [MPa]							
Bod i		1	2	3	4	5	6	7	8
$\sigma_{red i}$		354,9	40,68	354,9	40,68	239,52	227,45	193,23	227,45

Tab. 25 - Výsledná napětí v průřezu B-B závěsného oka

Napětí		$\sigma_{Bi}$ [MPa]							
Bod i		1	2	3	4	5	6	7	8
Zatížen ení	$F_x$	-131,42	51,3	-131,42	51,3	-131,42	-21,2	51,3	-21,2
	$F_y$	549,1	-245,7	549,1	-245,7	549,1	69,6	-245,7	69,6
	$F_z$	1	1	-1	-1	0	1	0	-1
$\sigma_{vys i}$		418,68	-193,4	416,68	-195,4	417,68	49,4	-194,4	47,4
Napětí		$\tau_{Bi}$ [MPa]							
Bod i		1	2	3	4	5	6	7	8
Směr		x	z	x	z	x	z	x	z
Zatížen ení	$F_x$	39,2	-	39,2	-	39,2	-	39,2	-
	$F_y$	-	-	-	-	-	-	-	-
	$F_z$	-	37	-	37	-	34,7	2,6	37
$\tau_{vys i}$		53,9	53,9	53,9	53,9	52,4	55,8	55,8	52
Napětí		$\sigma_{red i}$ [MPa]							
Bod i		1	2	3	4	5	6	7	8
$\sigma_{red i}$		429	214,8	421,6	427	427,4	108,6	217,1	101,8

### 6.2.5.5 Návrh materiálu závěsného oka

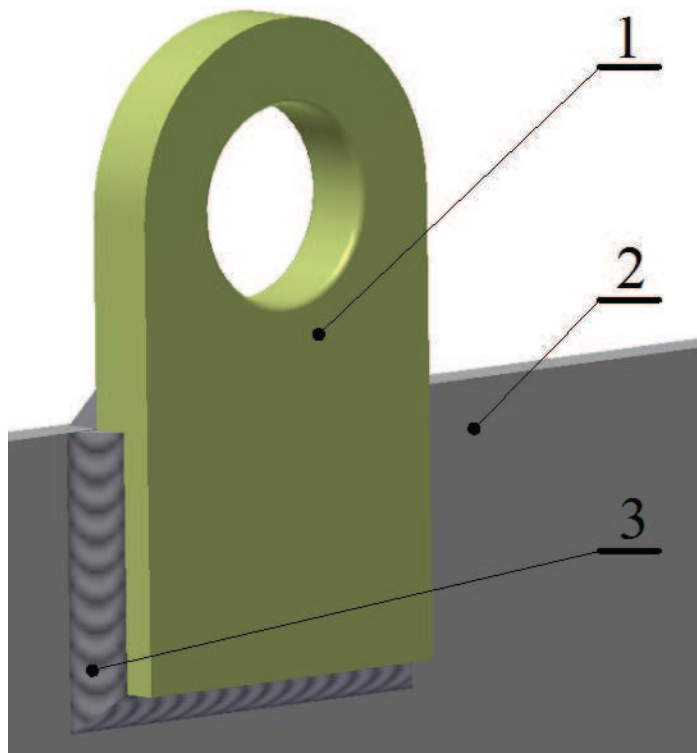
Z přehledu výsledných napětí v jednotlivých průřezích závěsného oka uvedených v tabulce 24 a 25 vyplývá, že maximální napětí v závěsném oku vyvolané vnější silou  $F_c$  (respektive současně působícími složkami  $F_x$ ,  $F_y$  a  $F_z$ ) je v průřezu B-B a dosahuje velikosti  $\sigma_{max} = 429 \text{ MPa}$ .

Na základě stanoveného maximálního napětí v závěsném oku  $\sigma_{max} = 429 \text{ MPa}$  se navrhuje pro výrobu ok použít ocel 15 422.5 s mezí kluzu  $\sigma_{kt} = 530 \text{ MPa}$ , ocel 16 224.6 s mezí kluzu  $\sigma_{kt} = 685 \text{ MPa}$  nebo materiál WELDOX 700E s mezí kluzu  $\sigma_{kt} = 700 \text{ MPa}$ , se zaručenou svařitelností. [21], [27]

Tvarové a rozměrově navržená závěsná oka, vyrobená z výše uvedených materiálu, splňují požadavky na mez kluzu a svařitelnost. Plně vyhovují požadavkům na pevnost a bezpečnost podle STANAG 4062.

### 6.2.6 Konstrukční návrh závěsného oka

Uspořádání geometrického modelu závěsného oka a svarových spojů pro pevnostní analýzu je zobrazeno na obrázku 51, který je uspořádán jako 3D model.



Obr. 51 - Model závěsného oka  
1 – pancíř korby, 2 – závěsné oko, 3- svarový spoj

Výrobní výkres závěsného oka je v Příloze F.

### 6.2.7 Svarové spoje závěsného oka

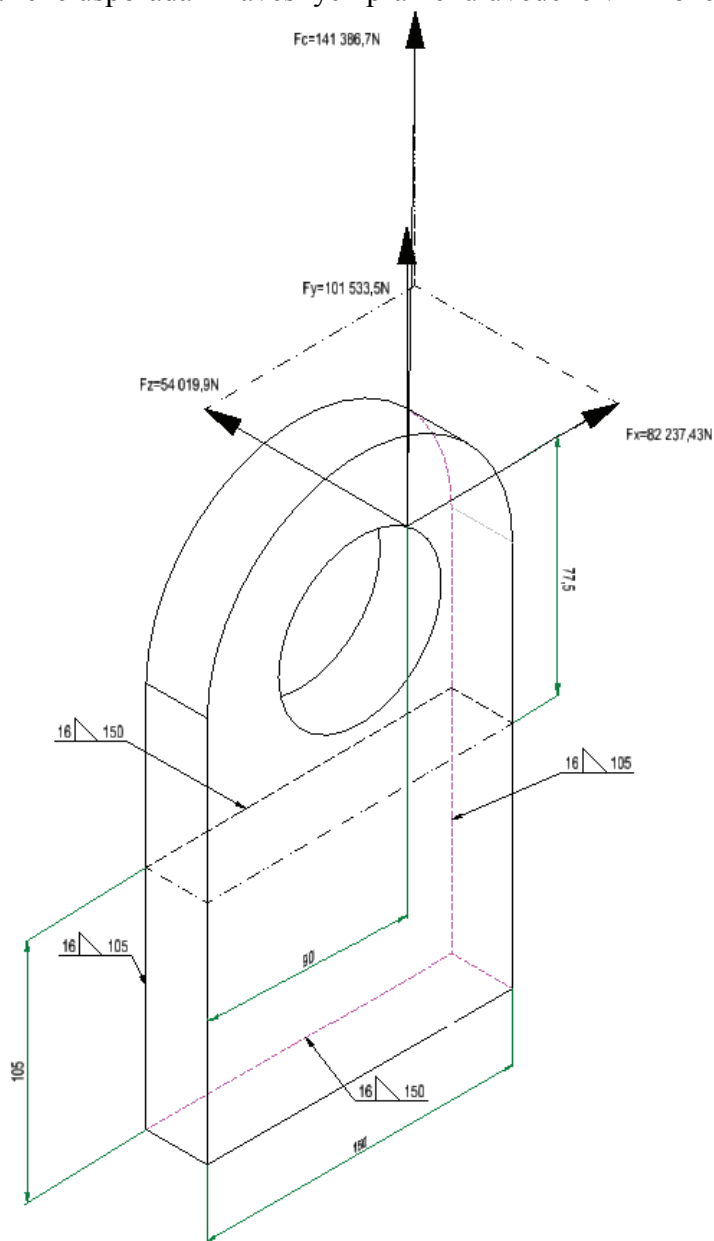
Při návrhu svarového spoje závěsného oka se vychází z mezního geometrického uspořádání závěsných pramenů (viz. Příloha E) a zatížení závěsného oka (viz. obr. 52).

Pevnostní kontrola svarových spojů závěsných ok je provedena podle normy ČSN 05 0120 „Výpočet svarových spojů strojních konstrukcí“ [22]. Závěsné oko a příslušné svarové spoje musí splňovat i pevnostní požadavky definované STANAG 4062.

#### 6.2.7.1 Konstrukční řešení svarových spojů a síly působící na závěsná oka

Konstrukční řešení svarového spoje závěsného oka je uvedeno na obrázku 52. Svarový spoj závěsného oka je řešen čtyřmi koutovými svary velikosti 16 v celkové délce 510 mm.

Silové působení je stejné pro všechna čtyři oka a je uvedeno na obrázku 52. Síly byly stanoveny v souladu s požadavky STANAG 4062 pro celkovou hmotnost vozidla 18 000 kg a pro mezní geometrické uspořádání závěsných pramenů uvedené v Příloze E.



Obr. 52 - Konstrukční řešení svarového spoje a silové působení na závěsné oko

#### 6.2.7.2 Pevnostní kontrola

Vzhledem k tomu, že oka budou přivařována na stěny korby vozidla, které budou z pancéřové oceli ARMOX 500T, je nutno pro svařování použít austenitický přídavný materiál. Vyšší mechanické vlastnosti jsou dosahovány u svařů provedených holým drátem v ochranné atmosféře, než u svařů obalenou elektrodou. Proto je pro svařování závěsných ok nutno použít svařovací drát. Při využití sortimentu tuzemského výrobce ESAB VAMBERK [23] je to drát OK Autrod 16.95, u kterého jsou u svarového kovu dosahovány následující hodnoty mechanických vlastností:

- mez kluzu  $R_e = 450\text{ MPa}$ ,
- mez pevnosti  $R_m = 640\text{ MPa}$ ,
- tažnost  $A_5 = 41\text{ \%}$ .

Pevnostní kontrola svarového spoje je provedena podle ČSN 05 0120 [22] s tím, že dovolené napětí je vztaženo k mezi kluzu svarového kovu. Pro koeficient bezpečnosti 1,5 a hodnotu meze kluzu pro přídatný materiál je dovolené napětí svarového spoje  $R_d = 300 \text{ MPa}$ .

#### Smykové napětí rovnoběžné se směrem svaru

- délka svaru  $l'_{\parallel} = 105 [\text{mm}]$
- tloušťka svaru  $z = 16 [\text{mm}]$

Výpočet výsledné celkové síly:

$$F_c = \sqrt{(F_x)^2 + (F_y)^2 + (F_z)^2} \quad [\text{N}] \quad (74)$$

$$F_c = \sqrt{(82237,43)^2 + (101533,5)^2 + (54,019,9)^2} = 141\,386,7 \text{ N}$$

Výpočet délky svaru podle ČSN 05 0120:

$$l_{\parallel} = l'_{\parallel} - 1,5 \cdot z \quad [\text{mm}] \quad (75)$$

$$l_{\parallel} = 105 - 1,5 \cdot 16 = 81 \text{ mm}$$

Výpočet smykového napětí:

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_c}{2 \cdot S_v} = \frac{F_c}{2 \cdot 0,7 \cdot z \cdot l_{\parallel}} \quad [\text{MPa}] \quad (76)$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{141\,386,7}{2 \cdot 0,7 \cdot 16 \cdot 81} = 77,92 \text{ MPa}$$

Smykové napětí rovnoběžné se směrem svaru je 77,92 MPa.

#### Smykové napětí kolmé na směr svaru

- délka svaru  $l'_{\perp} = 150 [\text{mm}]$

Výpočet délky svaru podle ČSN 05 0120:

$$l_{\perp} = l'_{\perp} - 1,5 \cdot z \quad [\text{mm}] \quad (77)$$

$$l_{\perp} = 150 - 1,5 \cdot 16 = 126 \text{ mm}$$

Výpočet smykového napětí:

$$\tau_{\perp} = \frac{F_c}{2 \cdot S_v} = \frac{F_c}{2 \cdot 0,7 \cdot z \cdot l_{\perp}} \quad [\text{MPa}] \quad (78)$$

$$\tau_{\perp} = \frac{141\,386,7}{2 \cdot 0,7 \cdot 16 \cdot 126} = 50,10 \text{ MPa}$$

Smykové napětí kolmé na směr svaru je 50,10 MPa.

### Výpočet statické bezpečnosti

$$\tau_s = \sqrt{\left(\frac{\tau_{\perp}}{\alpha_{\perp}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{\parallel}}{\alpha_{\parallel}}\right)^2} \text{ [MPa]} \quad (79)$$

- převodní součinitel svarového spoje kolmého  $\alpha_{\perp} = 0,9$
- převodní součinitel svarového spoje rovnoběžného  $\alpha_{\parallel} = 0,8$

$$\tau_s = \sqrt{\left(\frac{50,10}{0,9}\right)^2 + \left(\frac{77,92}{0,8}\right)^2} = 112,20 \text{ MPa}$$

Statická bezpečnost svarového spoje je 112,20 MPa.

Koutové svary musí vyhovovat statické podmínce, ze které se vypočítá součinitel bezpečnosti  $k_s$ .

$$\tau_s \leq \beta_s \cdot \frac{\sigma_{kt}}{k_s} \text{ [MPa]} \quad (80)$$

Výpočet součinitele tloušťky koutového svaru pro  $z < 10 \text{ mm}$ :

$$\begin{aligned} \beta_s &= 1,3 - 0,03 \cdot z \\ \beta_s &= 1,3 - 0,03 \cdot 16 = 0,82 \end{aligned} \quad (81)$$

Výpočet součinitele bezpečnosti:

$$\begin{aligned} k_s &= \beta_s \cdot \frac{\sigma_{kt}}{\tau_s} [-] \\ k_s &= 0,82 \cdot \frac{450}{112,20} = 3,29 \end{aligned} \quad (82)$$

Statická podmínka je splněna. Součinitel bezpečnosti je 3,29 a je větší než je stanovený normou STANAG 4062.

Pevnostní kontrola svarových spojů závěsných ok ukázala, že svarové spoje je možné hodnotit jako vyhovující. Podmínkou je použití přídavného materiálu a technologického postupu svařování, které zabezpečí kvalitní svarové spoje bez zbrzděných trhlin za studena v tepelně ovlivněné oblasti a bez trhlin za horka ve středové oblasti svarového kovu s minimální hodnotou meze kluzu svarového kovu 450 MPa. Příkladem takového přídavného materiálu je austenitický svařovací drát OK Autrod 16.95 tuzemského výrobce ESAB Vamberk.

### 6.2.8 Pevnostní analýza závěsných ok

Pevnostní analýza závěsných ok byla provedena metodou konečných prvků (MKP) programovým systémem Autodesk Inventor Professional 2013.

Pro pevnostní analýzu byly použity rozměry závěsného oka a síly působící na závěsné oko uvedené na obrázku 52. Okrajové podmínky byly realizovány dle zadání.

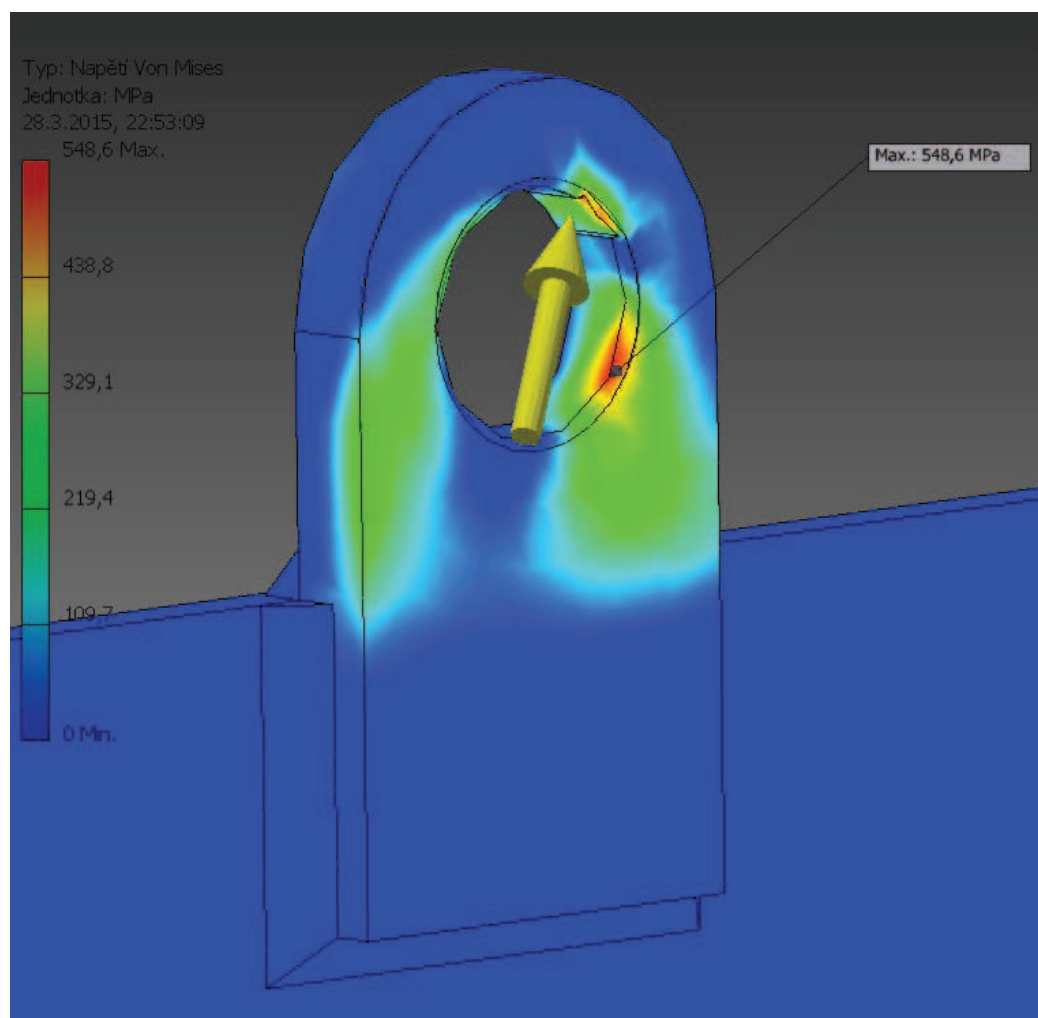
Výpočet byl proveden s materiálovými konstantami pro ocel, Youngův modul  $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$ , poissonova konstanta  $\nu = 0,3$ , mez pevnosti  $R_m = 780 \text{ MPa}$ , mez kluzu  $R_e = 700 \text{ MPa}$ . [24]



Analýza byla provedena pro maximální zatěžovací stav.

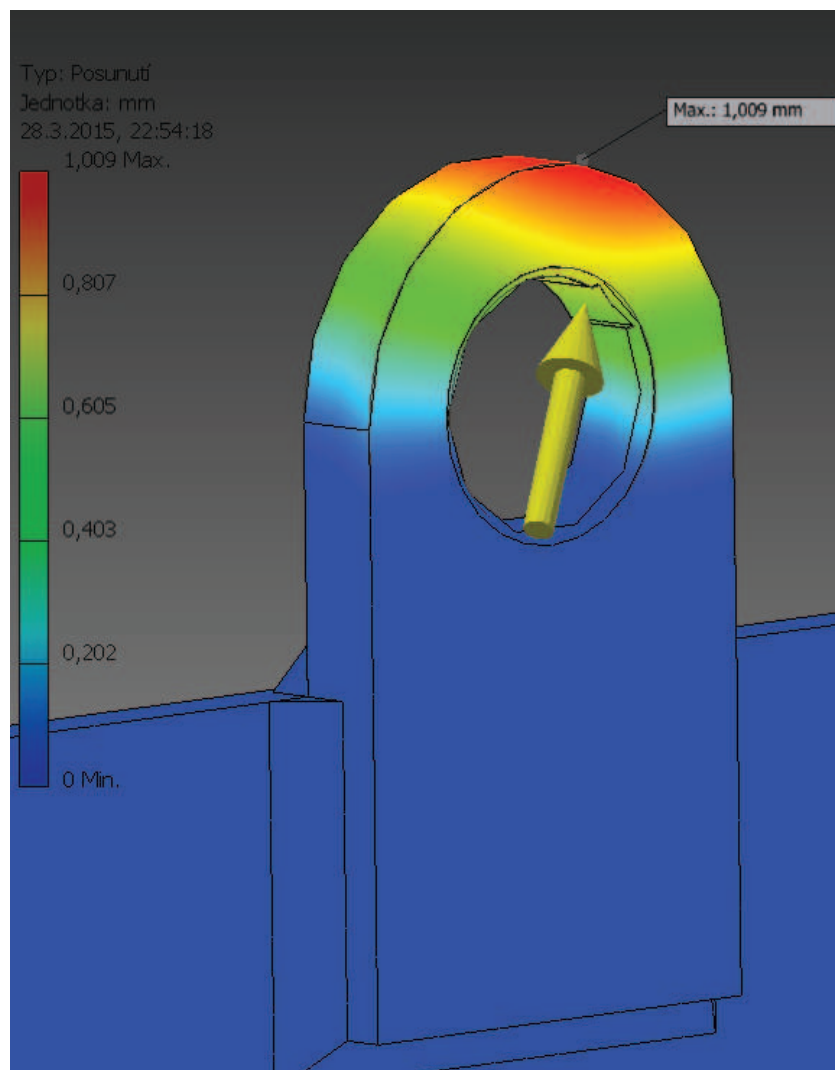
### Výsledky pevnostní analýzy

Maximální redukované napětí podle Von Misesovy teorie je zobrazeno na obrázku 53 a dosahuje hodnoty 548,6 MPa. Z důvodu, že mez kluzu oceli 15 422.5 je  $\sigma_{kt} = 530$  MPa nelze ji použít pro výrobu závěsného oka. Ocel 16 224.6 s mezí kluzu  $\sigma_{kt} = 685$  MPa a materiál WELDOX 700E s mezí kluzu  $\sigma_{kt} = 700$  MPa lze použít pro výrobu závěsných ok.



Obr. 53 - Maximální redukované napětí

Maximální posunutí závěsného oka (viz. obr. 54) dosahuje hodnoty 1,009 mm (0,63 % z celkové délky závěsného oka). Toto posunutí je zanedbatelné k celkovým rozměrům závěsného oka a návrh závěsného oka je možno hodnotit jako vyhovující.



Obr. 54 - Maximální posunutí

### 6.2.9 Dílčí závěr

Tvarově a rozměrově navržená závěsná oka, která budou vyrobena z materiálů splňující požadavky na mez kluzu a svařitelnost, plně vyhovují požadavkům na pevnost a bezpečnost požadovaných normou STANAG 4062.

Pevnostní kontrola svarových spojů závěsných ok potvrdila, že svarové spoje splňují požadavky normy ČSN 05 0120.

Pro výrobu závěsných ok ze sortimentu oceli podle ČSN přichází do úvahy ocel 16 224.6, ze zahraničního materiálu je to ocel WELDOX 700E. Pro svařování závěsných ok se doporučuje použít svařovací drát OK Autrod 16.95.

## 7. Konstrukční návrh korby s řešenými díly

Svařenec korby je popsán v kapitole 5. V souladu se zadáním byla pro korbu modernizovaného BVP řešena pro rychlé nastupování a vystupování osádky zadní rampa s integrovanými nouzovými dveřmi a pro zvedání vozidla byla řešena závěsná oka dle požadavků STANAG 4062.

### 7.1 Model korby s řešenými díly

Pro zpracování modelu korby s integrovanými řešenými díly tj. rampou s nouzovými dveřmi a závěsnými oky byly využity 3D modely:

- 3D model korby (kapitola 5)
- 3D model rampy (kapitola 6.1)
- 3D model nouzových dveří (kapitola 6.1)
- 3D model závěsných ok (kapitola 6.2)

Z těchto sestav byla vygenerována 3D sestava korby s rampou a závěsnými oky obrázek 55 a Příloha F.



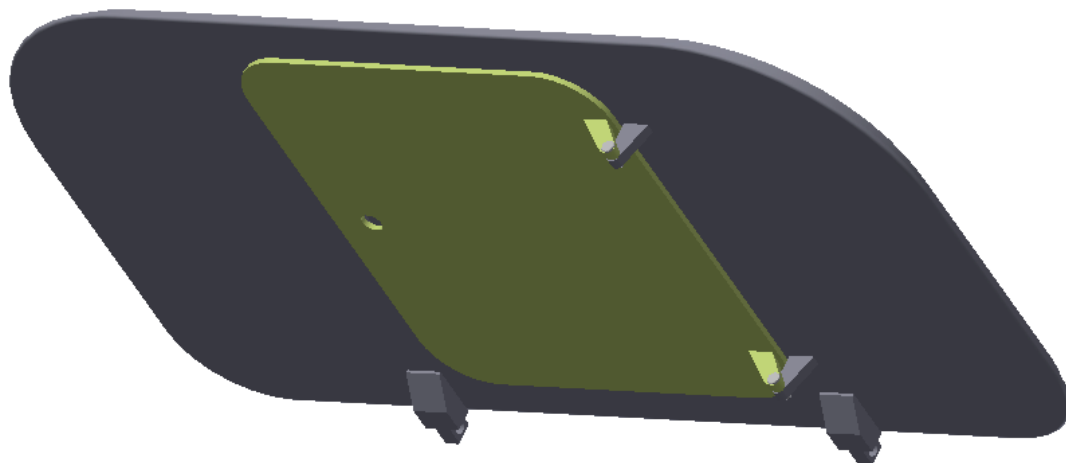
Obr. 55 - 3D model korby s rampou a závěsnými oky

Návrh integrace rampy do zadní části korby je znázorněn na obrázku 56.



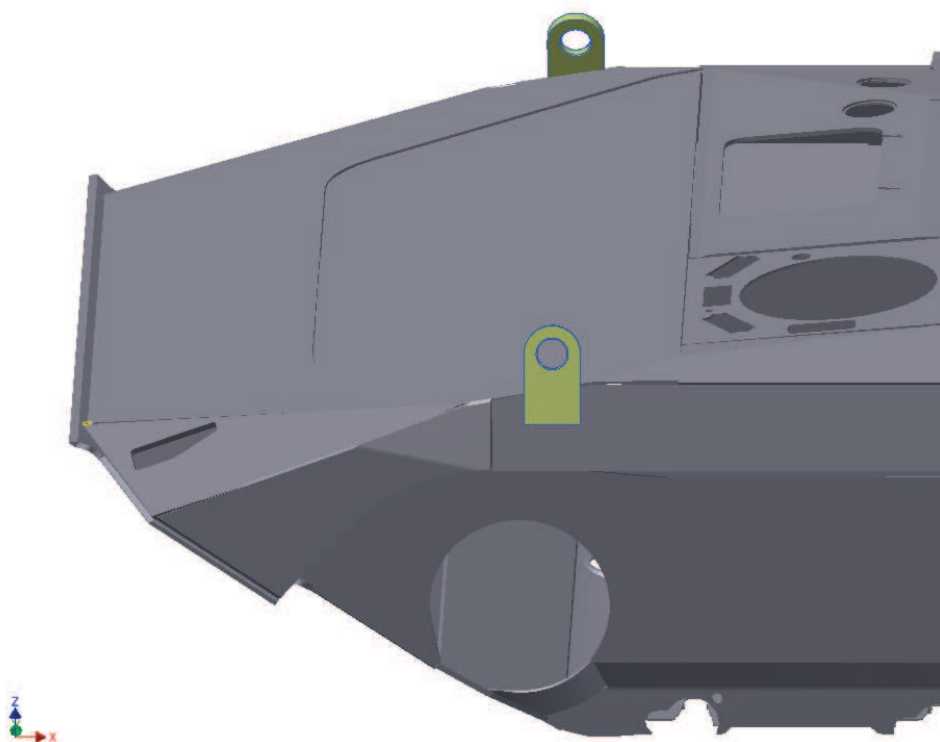
Obr. 56 - Integrace rampy do zadní části korby

Návrh integrace nouzových dveří do rampy je znázorněn na obrázku 57.



Obr. 57 - Integrace nouzových dveří do rampy

Integrace závěsných ok do přední části korby je zobrazena na obrázku 58.



Obr. 58 - Integrace závěsných ok do přední části korby

Vytvořené 3D sestavy korby pro modernizované BVP s rampou a závěsnými oky umožňují zpracovat konstrukční a výrobní dokumentaci. V rámci diplomové práce byl zpracován sestavní výkres korby s řešenými díly, který je v Příloze F.

## 7.2 Pravděpodobnost ochrany

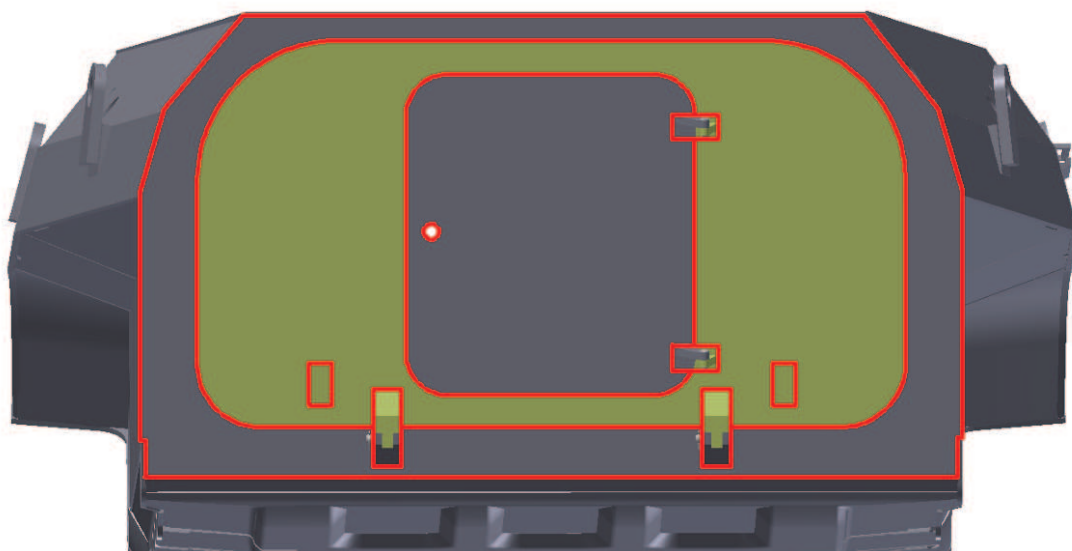
Konstrukčně zeslabené oblasti korby pro modernizované BVP jsou okraje, spoje, svary a tepelně ovlivněné oblasti svarových spojů. STANAG 4569 připouští v jednotlivých průmětech korby jejich výskyt v rozsahu do 10 % z posuzované celkové plochy dané průmětem korby do roviny kolmé na směr ostřelování v rozsahu kurzových úhlů 0° až 360° při sklonu kabiny 0° až 30°, což odpovídá pravděpodobnosti ochrany 90 %.

Schéma rozmístění jednotlivých konstrukčně zeslabených oblastí na zádním průmětu korby je uvedeno na obrázku 59. Přehled a číselné hodnoty jednotlivých konstrukčně zeslabených oblastí, včetně výsledné kalkulace pravděpodobnosti ochrany, jsou uvedeny v tabulce 26. Výpočet ploch konstrukčně zeslabených oblastí je proveden v souladu s přijatými závěry uvedenými v kapitole 4.2.3. Výpočet konstrukčně zeslabené plochy S1:

$$S = (\check{s} + k_{TOO} \cdot R_{st}) \cdot l \text{ [mm]} \quad (11)$$

$$S = (0 + 1,8 \cdot 7,62) \cdot 2\,381$$

$$S = 32\,652,5 \text{ mm}^2$$



Obr. 59 - Konstrukčně zeslabené oblasti

Tab. 26 - Konstrukčně zeslabené oblasti zadního průměru korby

Označení dílu korby	Celková plocha [mm <sup>2</sup> ]	Plocha konstrukčně zeslabené oblasti [mm <sup>2</sup> ]	Konstrukčně zeslabené oblasti
Zadní šikmý pancíř	800 330,0	32 652,5	TOO
Zadní šikmý pancíř I	157 768,0	16 245,8	SV+TOO
Konzola na pancíři	-	11 631,2	SV+TOO
Rampa	1 154 842,4	78 445,5	Okraj
Konzola na rampě	-	11 631,2	SV+TOO
Závěs na rampě	-	3 840,4	SV+TOO
Nouzové dveře	554 506,2	21 813,0	Okraj

Označení dílu korby	Celková plocha [mm <sup>2</sup> ]	Plocha konstrukčně zeslabené oblasti [mm <sup>2</sup> ]	Konstrukčně zeslabené oblasti
Závěs na nouzových dveřích	-	3 840,4	SV+TOO
Otvor pro uzavírací mechanismus dveří	-	957,6	Okraj
Konzola uchycení hydraulického válce		4 572	SV+TOO
Celková plocha chráněného prostoru zadního průmětu korby [mm <sup>2</sup> ]			2 509 678,6
Celková plocha konstrukčně zeslabených oblastí [mm <sup>2</sup> ]			185 629,6
<b>Pravděpodobnost ochrany</b>		<b>92,6 %</b>	

Pro další úpravy zadního průmětu korby v rámci modernizace vozidel BVP zbývá ještě 2,6 % konstrukčně zeslabených oblastí tj. 65 251,6 mm<sup>2</sup>.

Plochy konstrukčně zeslabené oblasti čelního a bočního průmětu korby a stropu jsou nižší než 10 % z celkové plochy a proto splňují pravděpodobnost ochrany 90 %.

## 8. Závěr

Dle dostupných informací vyplývá, že Armáda České republiky má přibližně 600 kusů vozidel na podvozku BVP-1, BVP-2 a OT-90. Vozidla byla částečně modernizována, nebyla však provedena komplexní modernizace. Provedené nebo navržené modernizace řešily zvýšení balistické ochrany vozidel použitím přídatného pancéřování na stávající korby.

Na základě výše uvedených skutečností a v souladu se zadáním diplomové práce byl zpracován návrh korby pro modernizované BVP splňující požadavek na balistickou ochranu podle STANAG 4569 pro náboj 7,62x54R se střelou AP-I B32 a na ostatní požadavky specifikované předpokládanými uživateli.

Při návrhu korby se vycházelo z rozborů a analýz fyzikálně-mechanických a balistických vlastností materiálů, rozborů faktorů ovlivňujících projektování balistické ochrany a pevnostních výpočtů. Navržené řešení korby splňuje požadavek na balistickou ochranu v rozsahu částečné hladiny 3 STANAG 4569, zlepšuje ergonomické podmínky pro členy roje, umožňuje nasedání a vysedání členů roje přes zadní rampu, která nahrazuje zadní dveře. Závěsná oka splňují požadavky normy STANAG 4062, ČSN 05 0120 a umožňují zvedat modernizované vozidlo o celkové hmotnosti 18 000 kg.

Návrh korby, rampy a závěsných ok je zpracován v 3D modelech, které umožňují zpracovat konstrukční a výrobní dokumentaci. V rámci diplomové práce byly zpracovány sestavy, podsestavy a výrobní výkresy v rozsahu 2xA0.

Provedené numerické a pevnostní simulace, reálné balistické experimenty a kontrolní výpočty potvrdily správnost návrhu technického řešení korby, rampy a závěsných ok.

## **Poděkování**

Chtěl bych touto cestou poděkovat lidem, kteří mi byli nápomocní při vypracování diplomové práce. Děkuji především vedoucímu diplomové práce panu doc. Dr. Ing. Ladislavu Kovářovi za velmi užitečnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

Dále bych rád poděkoval zaměstnancům Vojenského technického ústavu, s.p. odštěpného závodu VTÚPV, odštěpného závodu VTÚVM, Vojenského výzkumného ústavu s.p., EXCALIBUR ARMY spol. s r. o. a SVS FEM s.r.o. za vstřícný přístup, umožnění provedení numerických simulací, laboratorních zkoušek a balistických experimentů.



## 9. Seznam literatury

- [1] Tank-26-8, *Bojové vozidlo pěchoty BVP-I, Technický popis*, MNO, Praha 1977, 71s.
- [2] *BMP-1 SOVIET ARMoured FIGHTING VEHICLE IN DETAIL*, Český Těšín, 1995, ISSN 1211-0671.
- [3] Tank 26-12, *Bojové vozidlo pěchoty 2 (BVP-2), Popis*, MO, Praha 2000, 272s.
- [4] DZURENDA, J. *Korby bojových vozidel pěchoty provozované v Armádě České republiky*, Ostrava, 2014, VŠB TUO.
- [5] NOVÁK, M. a kol. *Parametry balistické odolnosti pro určování hladin ochrany, databáze balistických limitů*, Vyškov, 1999, VTÚPV.
- [6] STANAG 4569, Edition 1: *Protection Levels for Occupantsof Logistic and Light Armoured Vehicles*. NATO/NSA, Brussels, May 2004, 7s.
- [7] ROLC, S., OBDRŽÁLEK, L. *Obrněná technika - trendy modernizace*, Sborník z konference. *Současný stav a trendy vývoje materiálů pancéřování vojenské techniky*, Vyškov, 2000.
- [8] DZURENDA, J. *Teoretický rozbor a analýza fyzikálně mechanických a balistických vlastností kovových materiálů pro řešení korby bojového vozidla pěchoty*, Ostrava, 2014, VŠB TUO.
- [9] NOVÁK, M. *Materiály pro řešení balistické ochrany pozemní vojenské techniky*, Vyškov, 2011, VTÚPV.
- [10] *ARMOX 500T*, SSAB Oxelösund, Oxelösund, Sweden, 2014.
- [11] OGORKIEWICZ, R. M. *Advances in armourmaterials*, International defense review 4, 1991.
- [12] DZURENDA, J. *Rozbory vlivů na projektování balistické ochrany korby BVP*, Ostrava, 2014, VŠB TUO.
- [13] ČOS 343901. 3. vydání, *Svařování. Obloukové svařování homogenních ocelových pancířů*. Praha: Úřad pro obrannou standardizaci, katalogizaci a státní ověřování jakosti, 2011.
- [14] ČSN 42 0374. *Zkouška tvrdosti podle Vickerse - Část 1: Zkušební metoda*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [15] POSPÍŠIL, F. *Posouzení kvality svarových spojů*, Zpráva 702-46-01, Brno, 1993, VÚ 070.
- [16] JURÍČEK, L., NOVOTNÝ, P. *Vojenské zdravotnické listy. Modelování průstřelu ocelové desky malorážovou průbojnou střelou*, Ročník LXXIII, 2004.
- [17] DZURENDA, J. *Rampa pro bojové vozidlo pěchoty*, Ostrava, 2014, VŠB TUO.
- [18] *Výrobní katalog přímočarých hydromotorů*, HYDRAULICS s.r.o., Sehradice, 2009.
- [19] *Katalog GUMEX 2014/2015*, GUMEX s.r.o., Strážnice, 2014.
- [20] STANAG 4062, Edition 4: *Slinging And Tie-Down Facilities For Lifting And Tying Down Military Equipment For Movement By Land And Sea*, Brussels, NATO/NSA, Brussels, May 1999, 20s.
- [21] WELDOX: WELDOX 700E. [online]. [cit. 2015-04-01]. Dostupné z: [http://www.ssab.com/Global/WELDOX/Datasheets/en/107\\_WELDOX\\_700\\_UK\\_Data%20Sheet.pdf?epslanguage=en](http://www.ssab.com/Global/WELDOX/Datasheets/en/107_WELDOX_700_UK_Data%20Sheet.pdf?epslanguage=en).

- [22] ČSN 05 0120. *Výpočet svarových spojů strojních konstrukcí*. Praha: Vydavatelství úřadu pro normalizaci a měření, 1971.
- [23] EASB: Vamberk: ESAB. [online]. [cit. 2015-04-01]. Dostupné z: <http://www.esab.cz/cz/cz/products/purchase/>.
- [24] SHIGLEY. J., MISCHKO. Ch., BUDYNAS. R. *Konstruování strojních součástí*, Brno, nakladatelství VUTIUM, 2010, 1186s, ISBN 978-80-214-2629-0.
- [25] DZURENDA, J. *Závěsná oka pro bojové vozidlo pěchoty o celkové hmotnosti 18 000 kg*, Ostrava, 2015, VŠB TUO.
- [26] DZURENDA, J. *Pásmo s nižší balistickou ochranou u svarových spojů pancéřových plechů*, Ostrava, 2015, VŠB TUO.
- [27] LEINVEBER, J., ŘASA, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. Scientia, spol. s r.o., 1999, pedagogické nakladatelství. 985 s. ISBN 80-7183-164-6.

## **10. Seznam příloh**

Příloha A - Naměřené tvrdosti u svarového spoje s pancéřové oceli ARMOX 500T

Příloha B - Svarový spoj z pancéřové oceli 2P

Příloha C - Výsledky experimentu vzorku tloušťky 18,9 mm

Příloha D - Výsledky experimentu vzorku tloušťky 8,6 mm

Příloha E - Umístění závěsných ok na vozidle a geometrie závěsu

Příloha F - Technická dokumentace (TD)

- Výkres, Korby s díly, číslo výkresu DZU0004-00-00-00
- Výkres, Rampa, číslo výkresu DZU0004-02-00-00
- Výkres, Nouzové dveře, číslo výkresu DZU0004-03-00-00
- Výkres, Závěsné oko, číslo výkresu DZU0004-06-00-00
- 3D model korby, číslo výkresu DZU0004-01-00-00/M
- Kusovník, číslo výkresu DZU0004-01-00-00/M

Příloha G - Přiložené CD

## Příloha A - Naměřené tvrdosti u svarového spoje s pancéřové oceli ARMOX 500T

Tvrdot u svarového spoje byla měřena podle Vickerse, ČSN 42 0374 na tvrdoměru WOLPERT V-TESTOR při zatížení 49 N. Naměřené hodnoty tvrdosti osou svaru jsou uvedeny v tabulce 1, naměřené hodnoty tvrdosti na pravé straně vzorku jsou uvedeny v tabulce 2, průběh tvrdosti na obrázku 1.

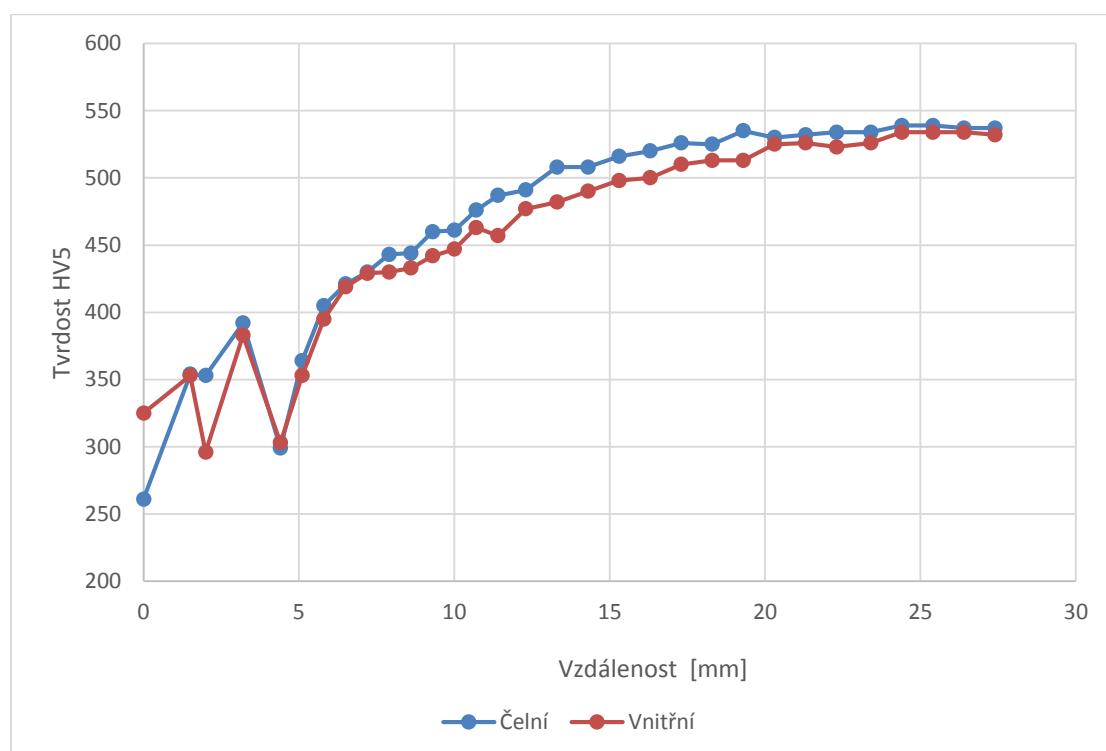
Tab. 1 - Naměřené hodnoty tvrdosti osou svaru

Vzdálenost [mm]	Tvrdot HV5
0,5	260
1,0	339
2,0	255
3,0	256
4,0	318
5,0	259
6,0	366
7,0	366
8,0	323
9,0	343
10,0	311
10,5	393

Tab. 2 - Naměřené hodnoty tvrdosti na pravé straně vzorku

Vzdálenost od osy svaru[mm]	Tvrdot HV5	
	Čelní strana	Vnitřní strana
0,0	261	325
1,5	354	353
2,0	353	296
3,2	483	383
4,4	299	303
5,1	364	353
5,8	405	395
6,5	421	419
7,2	430	429
7,9	443	430
8,6	444	433
9,3	460	442
10,0	461	447
10,7	476	463
11,4	487	457
12,3	491	477
13,3	508	482
14,3	508	490
15,3	516	498
16,3	520	500
17,3	526	510

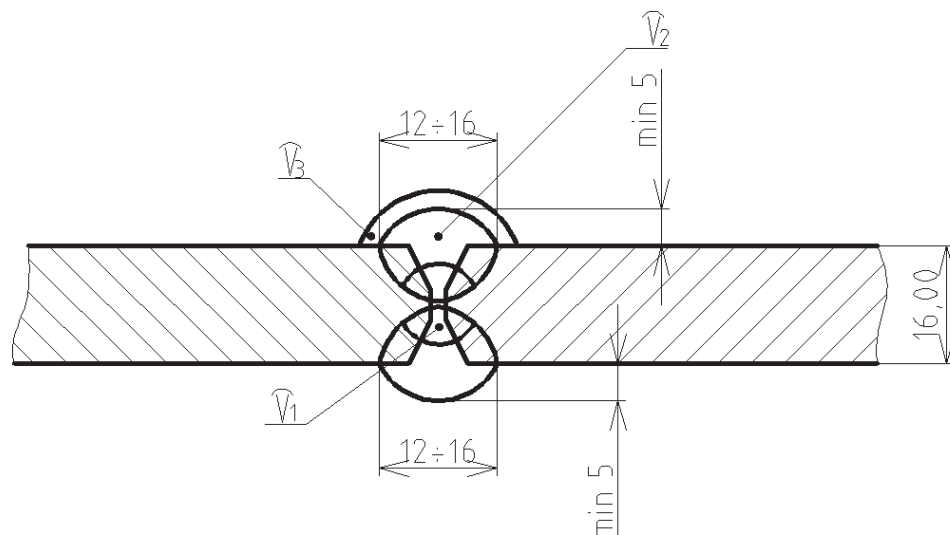
Vzdálenost od osy svaru[mm]	Tvrđost HV5	
	Čelní strana	Vnitřní strana
18,3	525	513
19,3	535	513
20,3	530	525
21,3	532	526
22,3	534	523
23,4	534	526
24,4	539	534
25,4	539	534
26,4	537	534
27,4	537	532



Obr. 1 - Profil tvrdosti pravé strany vzorku na linii měření.

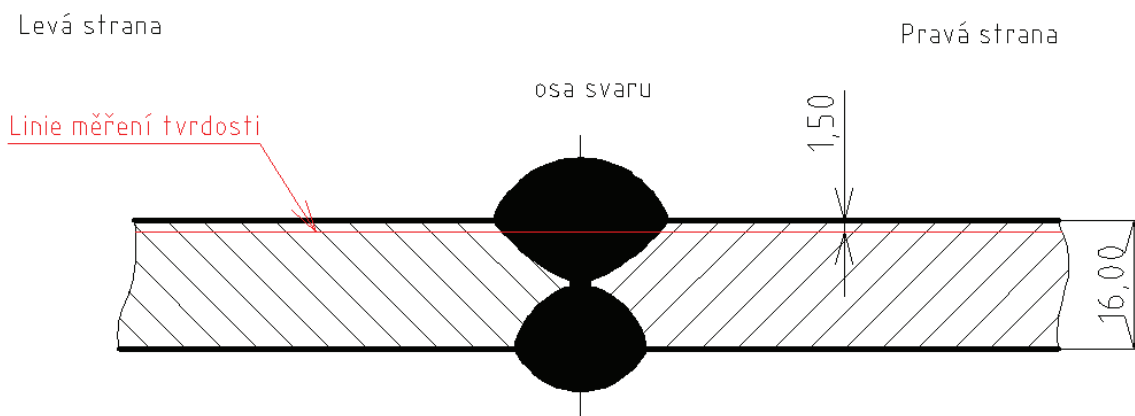
## Příloha B - Svarový spoj z pancéřové oceli 2P

Pro stanovení pásma s nižší balistickou odolností pancéřové oceli 2P byl navržený a vyrobený vzorek z pancéřové oceli 2P jmenovité tloušťky 16,0 mm. Svar je symetrický dvojstranný V svar s rozměry dle obrázku 1. Z vnější strany vzorku je na svaru provedena krycí housenka pro dosažení větší tloušťky svarového kovu s nižší tvrdostí.



Obr. 1 - Konstrukce svarového spoje

Vzorek pro měření tvrdosti byl odebrán tak, že osa řezu procházela kolmo k podélné ose svaru. Linie měření tvrdosti (viz. obr. 2) byla volena tak, aby byl zachycen profil tvrdosti v základním materiálu (ZM), tepelně ovlivněné oblasti (TOO) a svarovém kovu (SK) a byla rovnoběžná s povrchem vzorku v neoduhličené vrstvě.

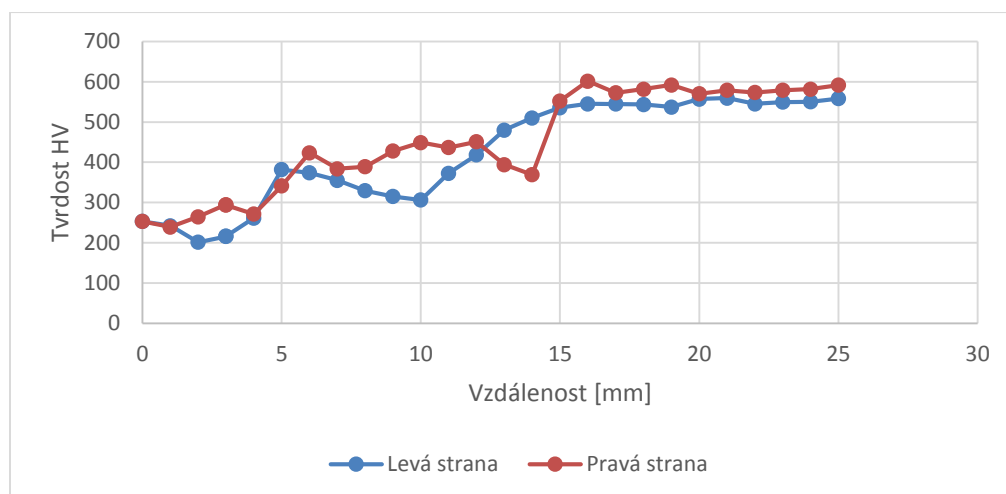


Obr. 2 - Linie měření tvrdosti

Tvrdost byla měřena podle Vickerse, ČSN 42 0374 na tvrdoměru WOLPERT V-TESTOR při zatížení 98 N. Větší zatížení nebo zkouška podle Brinella nebyly voleny z toho důvodu, že by nebylo možno s ohledem na rozměry v tisku detailněji zachytit profily tvrdostí. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 1, průběh tvrdosti na obrázku 3.

Tab. 1 - Naměřené hodnoty tvrdosti svaru

Vzdálenost od osy svaru [mm]	Tvrdost HV 10	
	Levá strana vzorku	Pravá strana vzorku
0	253,2	253,2
1	242,4	239,4
2	201,6	264,7
3	215,9	294,8
3	216,8	293,5
4	261,6	271,5
5	382,0	341,4
6	373,9	423,7
7	355,1	383,7
8	329,3	389,1
9	315,1	427,9
10	306,4	449,2
11	372,8	436,6
12	418,5	451,0
13	480,1	394,3
14	510,3	369,3
15	535,7	552,2
16	545,1	601,4
17	544,9	572,5
18	543,5	581,9
19	537,3	591,9
20	556,9	570,2
21	559,4	579,0
22	545,1	573,4
23	549,4	579,1
24	550,5	581,6
25	558,2	591,5



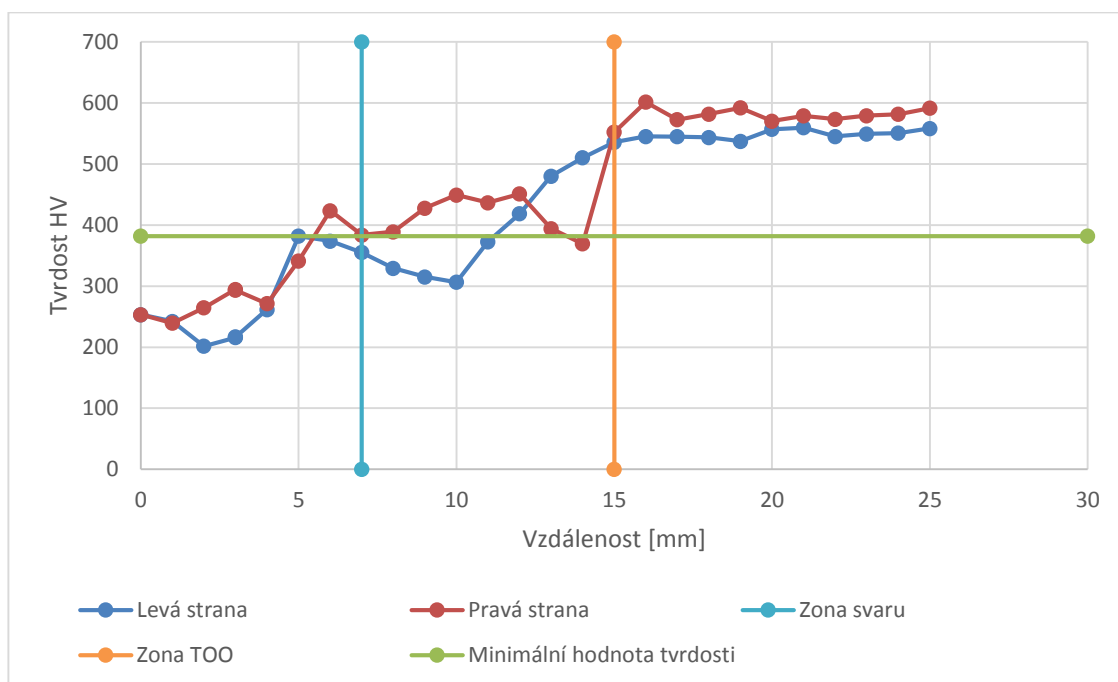
Obr. 3 - Průběh tvrdosti

Pro pancéřové plechy z oceli 2P je podle normy OST V3-2518-84 pro tloušťku 15 mm až 22 mm předepsaná tvrdost průměrem vtisku HB  $\varnothing$  2,75 až  $\varnothing$  3,20 mm. Tomu odpovídá tvrdost HV 382 až 533. Profil tvrdosti vzorku na linii měření je zřejmý z obrázku 4. Z profilu tvrdosti vyplývá:

- základní materiál je zpracován na vysokou tvrdost 535,7 až 601,4 HV, která je nad horní

hranici tvrdosti podle normy OST V3-2518-84,

- u tepelně ovlivněné oblasti došlo k poklesu tvrdosti v důsledku svařování na hodnotu 306,4 až 552,2 HV.
- svarový kov vykazuje tvrdost 201,6 až 423,7 HV a je zhruba poloviční oproti tvrdosti pancíře, avšak odpovídá použitému přídavnému materiálu E-B415.



Obr. 4 Pásmo svarového spoje s nižší balistickou odolností.



### Příloha C - Výsledky experimentu vzorku tloušťky 18,9 mm

Pancéřový plech ARMOX 500T, tloušťka 18,9 mm, úhel $\alpha = 0^\circ$				
Číslo nástřelu	Dopadová rychlost [m·s <sup>-1</sup> ]	Poškození pancíře Čelní strana / zadní strana	Poškození kontrolní desky	Hodnocení nástřelu
1	868,0	Vr - část jádra střely v nástřelu. Hloubka vrypu 14,3mm / Vb - o výšce 0,24 mm	0	V
2	877,2	Pr, část jádra v nástřelu	1	NZ
3	868,7	Vr / bez poškození	0	V
4	878,2	Pr, část jádra v nástřelu	1	NZ
5	862,5	Vr - část jádra střely v nástřelu / Vb	0	V
6	875,1	Vr - část jádra střely v nástřelu / Vb	0	V
7	872,5	Vr - část jádra střely v nástřelu / Vb	0	V
8	871,1	Vr - část jádra střely v nástřelu / Vb	0	V
<b>Vyhodnocení:</b> pancéřový plech ARMOX 500T tloušťky 18,9 mm zabezpečuje střeleckou odolnost proti prostředku ohrožení podle hladiny 3 STANAG 4569 - náboj 7,62 mm x 54R se střelou AP-I B32 při průměrné dopadové rychlosti 871,7 + 3,4 m·s <sup>-1</sup> .				

Význam zkratk: Vr - vryp, Vb - vyboulčina, Pr - průraz, 0 - kontrolní deska bez poškození, 1 - kontrolní deska s průrazem (průnik světla), V - zásah hodnocen jako vyhovující, NZ - nezapočitatelný zásah.

## Příloha D - Výsledky experimentu vzorku tloušťky 8,6 mm

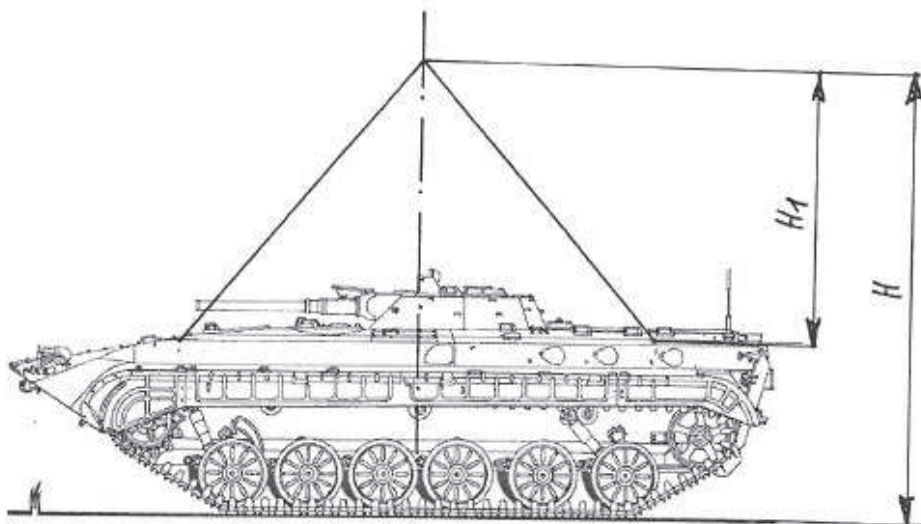
Pancéřový plech ARMOX 500T, tloušťka 8,6 mm, dopadová rychlost 854 + 20 m·s <sup>-1</sup>					
Číslo ná střelu	Dopadová rychlost [m·s <sup>-1</sup> ]	Dopadový úhel [°]	Poškození pancíře Čelní strana/zadní strana	Poškození kontrolní desky	Hodnocení ná střelu
1	876,5	27	Pr	1	NZ
2	873,8	30	Pr	1	N
3	880,0	33	Pr	1	NZ
4	868,3	33	Vr - část jádra střely v ná střelu / Vb	0	V
5	880,0	33	Pr	1	NZ
6	871,4	33	Pr	1	N
7	880,0	35	Vr - část jádra střely v ná střelu / Vb	0	V
8	865,0	35	Pr,	1	N
9	867,0	35	Vr - část jádra střely v ná střelu / Vb	0	V
10	871,0	35	Pr	1	N
11	872,2	36	Vr - část jádra střely v ná střelu / Vb	0	V
12	869,0	36	Vr - část jádra střely v ná střelu / bez poškození	0	V
13	870,0	36	Vr - část jádra střely v ná střelu / bez poškození	0	V
14	865,0	36	Vr - část jádra střely v ná střelu / bez poškození	0	V
15	871,1	36	Vr - část jádra střely v ná střelu / bez poškození	0	V
<b>Vyhodnocení:</b> pancéřový plech ARMOX 500T tloušťky 8,6 mm zabezpečuje střeleckou odolnost proti prostředku ohrožení podle hladiny 3 STANAG 4569 - náboj 7,62 mm x 54R se střelou AP-I B32 při dopadovém uhlu 36°.					

Význam zkratk: Vr - vryp, Vb - vyboulenina, Pr - průraz, 0 - kontrolní deska bez poškození, 1 - kontrolní deska s průrazem (průnik světla), V - zásah hodnocen jako vyhovující, N - zásah hodnocen jako nevyhovující, NZ - nezapočitatelný zásah.

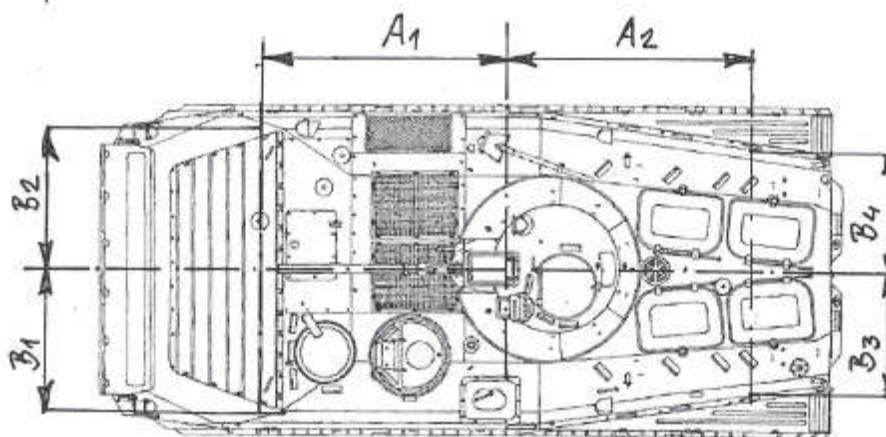
## Příloha E - Umístění závěsných ok na vozidle a geometrie závěsu

Závěsná oka jsou na vozidle symetricky rozmístěna k těžišti vozidla a to v podélném směru ve vzdálenosti  $A_1$ ,  $A_2$  a v příčném směru ve vzdálenosti  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $B_3$ ,  $B_4$ . Uzel závěsných pramenů je ve výšce  $H_1$  nad vodorovnou rovinou procházející osou závěsných ok a ve výšce  $H$  nad zemí.

Poloha závěsných ok a závěsných pramenů je schematicky znázorněna na obrázku 1 a 2.

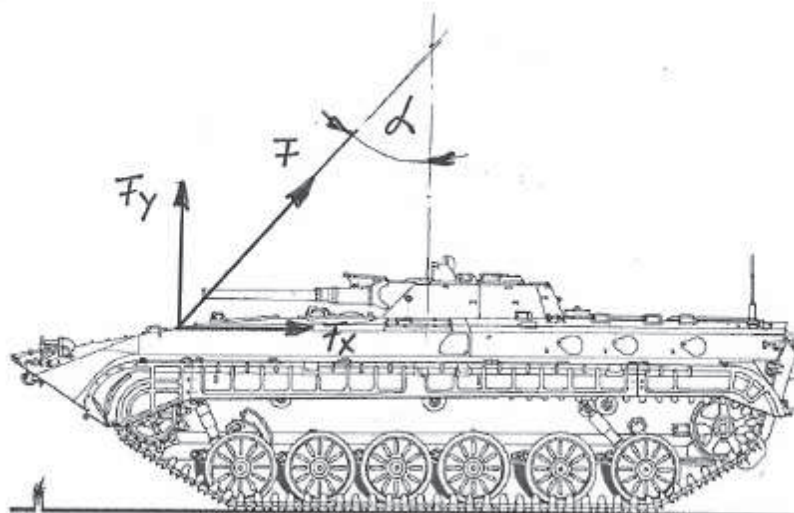


Obr. 1 - Umístění závěsných ok na vozidle – boční průmět



Obr. 2 - Umístění závěsných ok na vozidle – půdorys

Maximální možný úhel odklonu závěsného pramene od svislice je schematicky znázorněn na obrázku 3.



Obr. 3 - Úhel odklonu závěsného pramene od svislice